ENDEAVOUR

Revista trimestral, publicada en cinco idiomas, destinada a registrar el progreso de las ciencias al servicio de la humanidad

---

VOLUMEN XIX Julio 1960 NUMERO 75

SUMARIO

070.432:92:54
Editorial: Thomas Beddoes (1760–1808) 123

591.481.12:591.147.4/.5
El sistema neurosecretor del diencéfalo — W. BARGMANN — 125

546.18.17
Los derivados fosfonitrílicos — N. L. PADDOCK — 134

551.578.9:552.6
La acreción de materia cósmica a la Tierra — H. PETTERSSON — 142

634.1/2:581.16
La selección de nuevas variedades de frutales — W. WILLIAMS y A. G. BROWN — 147

591.473:595.44
Los mecanismos hidráulicos en las arañas — D. A. PARRY — 156

539.14
La estructura del núcleo — J. HAMILTON — 163

049.3
Revista de libros 171

Revistas resumidas de libros 175

Notas sobre los colaboradores 176

Libros recibidos .. .. Cubierta III

Redactor-jefe: TREVOR I. WILLIAMS
Redactores auxiliares: G. N. J. BECK (*Ediciones extranjeras*)
W. A. OSMAN

Imperial Chemical Industries Limited, Millbank, Londres, S.W.1
Toda comunicación a los editores debe dirigirse a North Block, Thames House, Millbank, Londres, S.W.1

Thomas Beddoes (1760–1808)

No es poco común que olvidemos al maestro para recordar al discípulo, aunque a veces la brillantez de un estudiante ha dejado en la sombra, sin verdadero motivo, a su profesor. Tal fue el caso de Humphry Davy y Thomas Beddoes, de quien el joven discípulo cornualés aprendió mucho en la fase formativa de su desarrollo. Aunque de poca duración, el cargo de superintendente que Davy ocupó en el *Medical Pneumatic Institute* de Clifton, cerca de Bristol, significó un episodio importante en su carrera. John Davy, su hermano, escribió: «Si se hubiera creado este cargo especialmente para él no hubiese sido más apropiado a su genio o mejor adaptado para activar y desarrollar las facultades de su intelecto.» Quizás sea cierto que el descubrimiento más importante de Beddoes fue Davy mismo, pero también lo es que aquél fue figura importante de su tiempo, mente progresiva en un momento en que tal cosa era peligrosa, e influyente tanto en la literatura como en la medicina. En verdad, la amplitud misma de sus estudios parece haber ayudado a disminuir su fama. El propio juicio de Davy era que «Beddoes tenía facultades que le hubiesen llevado al pináculo de la filosofía si las hubiera aplicado con discreción».

Beddoes nació en Shropshire en 1760 e ingresó en el *Pembroke College*, Oxford, a la edad de dieciseis años. Allí, además de cursar las letras clásicas aprendió por sí solo el francés, el alemán y el italiano, interesándose además en la botánica, la mineralogía y la química; en pocos años adquirió considerables conocimientos sobre la manipulación de los gases o «aires», como se llamaban entonces. Hacia 1779 se dedicaba al estudio de la medicina y dos años más tarde marchó a Londres a estudiar anatomía con John Sheldon, completando sus cursos en Edimburgo, donde permaneció hasta el verano de 1787.

Pronto se hizo manifiesta la amplitud de intereses de Beddoes. Sus trabajos literarios se iniciaron con una traducción de las *Dissertazioni* de Spallanzani (1729–99), cuya obra se conocía poco en Inglaterra. También publicó traducciones de los trabajos químicos de Toberg Bergman (1735–84) y Scheele (1742–86). En el otoño de 1787 realizó un viaje por Europa y — prueba de que volvía a interesarse por la química — visitó a Lavoisier e hizo amistad con Guyton de Morveau. Regresó luego a Oxford, donde en 1786 había conseguido el doctorado en medicina y donde en 1788 fue nombrado profesor de química, sin otra remuneración que los honorarios que voluntariamente le pagaban los estudiantes que iban a sus clases. A ellas acudían muchos: eran las más numerosas de la universidad — según afirmaba él — desde el siglo XIII.

Era aquélla una época revolucionaria en la química: la derrota de la doctrina del flogisto y el cambio en las opiniones de Beddoes puede trazarse muy bien en sus escritos. En sus traducciones de Bergman y Scheele, Beddoes acepta la teoría flogística de Stahl. En 1789 escribía a William Higgins sobre los «admirables experimentos recientes del Dr. Priestley», quien «había restablecido la teoría del flogisto». Durante el año siguiente publicó un estudio sobre los trabajos y doctrinas del entonces olvidado químico John Mayow (1641–79), bajo el título *Chemical Experiments and Opinions Extracted from a Work published in the Last Century*, trabajo que despertó considerable interés y provocó una polémica entre Beddoes y algunos químicos franceses, especialmente Fourcroy. Según Beddoes, Mayow «había presentado claramente la noción del flogisto que tanta fama había dado a Stahl». Pero en noviembre de 1791 tal problema de prioridad había perdido interés: Beddoes había aceptado las teorías de Lavoisier.

El círculo de amigos de Beddoes se extendía mucho más allá de Oxford. Entre ellos estaban algunos de los personajes más famosos del momento, incluyendo algunos miembros de la «Sociedad Lunar», grupo de «filósofos naturales» así llamado porque se reunían durante los plenilunios para poder encontrar el camino de vuelta a sus casas. Entre sus amigos estaban Joseph Priestley, Erasmus Darwin, los Wedgwoods, William Withering, Matthew Boulton y James Watt. Por medio de Benjamin Franklin, la «Sociedad Lunar» estaba relacionada con los revolucionarios tanto de América como de Francia, y esas amistades causaron dificultades a algunos miembros. Una cena organizada por James Keir, fabricante de productos químicos, para celebrar el segundo aniversario de la toma de la Bastilla, ocasionó el tumulto en el que resultó incendiada la casa de Priestley. Durante las vacaciones de verano de 1792, Beddoes distribuyó entre sus colegas de la Universidad de Oxford un panfleto defendiendo la Revolución Francesa; muchos de aquéllos lo recibieron friamente y Beddoes dimitió su cargo y abandonó la universidad.

Pasó de allí a Clifton donde trabajó encarnizadamente para crearse una clientela de enfermos y continuar con sus escritos: al mismo tiempo, reanudaba sus ensayos sobre los usos medicinales de los gases, especialmente del oxígeno, del «aire fijado» (ácido carbónico) y del «hidrocarbonato» (gas de agua). En 1794 publicó sus *Considerations on the Medical Use of Factitious Airs and on the Manner of Obtaining them in Large Quantities*, obra en dos partes, la primera de Beddoes y la segunda de James Watt, que había colaborado con él en la construcción de aparatos neumáticos.

En ese libro se desarrollan sus ambiciosas ideas sobre el establecimiento de una «Institución Pneumática Médica» en la que se administraran los «aires» por un superintendente bajo la dirección de un médico. Este cargo de «superintendente» lo ocupó en octubre de 1798 un joven de 19 años, Humphry Davy. La existencia misma de la «Institución» se debió principalmente a la generosidad de Thomas Wedgwood y otros amigos, entre ellos Richard Kirwan, químico irlandés.

Para Davy, pobre aprendiz de boticario, este cargo de Clifton fue un paso importante en su carrera, conseguido gracias a unos amigos de Beddoes, especialmente Davies Giddy, rico propietario aficionado a la ciencia, quien más tarde, como Davies Gilbert, llegó a ser Presidente de la *Royal Society*. Otro amigo de Davy que le recomendó era el hijo menor de James Watt, Gregory, quien de viaje por Penzance para gozar de su clima se había alojado en casa de la madre de Davy y hecho buena amistad con éste. No es de extrañar, por tanto, que cuando Davy quiso obtener consejo sobre su ensayo *On the Nature of Heat and Light* y sobre sus primeros experimentos químicos acudiese a Beddoes, quien formó excelente opinión de los trabajos del muchacho. El primero publicado por Davy apareció en la colección de Beddoes titulada *Contribution to Physical and Medical Knowledge mainly from the West of England.*

Davy halló que la primera impresión de Beddoes era de hombre adusto, pero muy amable para aquellos a quienes tenía verdadero afecto. En la primera carta que mandó a su casa escribe: «el Dr. Beddoes es muy bajo y grueso, de maneras poco elegantes y sin nada en su exterior que diga de su genio o de su ciencia». Pero unos meses más tarde decía: «Me he naturalizado en esta familia y tanto más los quiero cuanto más los conozco.» Davy reanudo su trabajo sobre el óxido nitroso bajo la dirección de Beddoes, estudiando, naturalmente, los efectos que producía la respiración de dicho gas. Davy lo inhaló por vez primera para experimentar sus efectos en abril de 1799, observado su valor como anestésico en ocasión de los dolores que le causaba su propia muela del juicio. Desgraciadamente, las inmensas posibilidades médicas de estas observaciones, que cristalizaron medio siglo más tarde, se perdieron en las extravagancias de la moda del «gas de la risa», fomentada por Beddoes como publicidad de su «Institución». Pero ya Davy dirigía su atención a la nueva ciencia del «galvanismo», cuestión que había interesado desde hacía ya años a Beddoes, quien había construido varias pilas voltaicas. Davy también construyó una con la que realizó importantes observaciones descritas en trabajos del *Nicholson's Journal.*

La influencia de Beddoes sobre Davy no se limitó al estímulo y ayuda en sus experimentos químicos, ya que su amplio círculo de amigos en Clifton no era predominantemente científico. Entre ellos se encontraba R. L. Edgeworth, amateur científico bien informado que ayudó a calmar la opinión de la población local contra los trabajos con los gases «nocivos». En 1794, Beddoes casó con Anna, hija de Edgeworth y hermana de la novelista María. Su hijo mayor fue Thomas Lovell Beddoes, el poeta del siglo XIX. La casa de Beddoes en Clifton llegó a ser el foco de la sociedad intelectual local, que contaba con poetas como Southey, Coleridge y Wordsworth. Davy los conoció a todos y su propia inspiración poética halló expresión en *The Sons of Genius*, publicado en la *Annual Anthology* de Southey. Aunque Davy sólo permaneció entre esta sociedad durante 16 meses, antes de trasladarse a la recién fundada *Royal Institution* de Londres como Director de su laboratorio, ésta fue sin duda una época de gran valor para él como transición entre su humilde existencia en Penzance y las exigencias de los círculos a la moda en Londres.

Después de la marcha de Davy cambió el carácter de la «Institución pneumática»: al cabo de dos años se suspendió la «práctica pneumática» y el edificio pasó a ser usado como clínica de medicina preventiva. Aunque su contribución no fue de durable valor, no debemos, sin embargo, menospreciar su importancia: fue uno de los primeros centros de investigación, hoy tan comunes. Beddoes, trasladado a Londres, consiguió allí grandes éxitos en su profesión médica, antes de morir el 24 de diciembre de 1808.

El sistema neurosecretor del diencéfalo

W. BARGMANN

Describe este artículo las células neurosecretoras del diencéfalo, entre cuyas funciones figuran la regulación de la retención de agua, presión sanguínea, contracción de la pared del útero y secreción láctea de las mamas. Considérase también el modo como el sistema podría influir en la actividad del lóbulo anterior de la pituitaria. Aparte el interés fisiológico y bioquímico que implica el conocimiento del sistema neurosecretor del diencéfalo, éste cobra especial importancia en relación con la enfermedad llamada «diabetes insípida».

Hasta hace unos 60 años, casi nada se sabía acerca de la función de esa parte del encéfalo que Galeno llamó *hypophysis cerebri*. Hoy, cualquier entendido en biología o medicina sabe que la hipófisis, o pituitaria, con sus tres lóbulos (anterior, medio y posterior), constituye un complicado órgano endocrino que despliega multitud de actividades, en parte bien definidas. Produce, por ejemplo, la pituitaria hormonas que controlan la actividad de otras glándulas endocrinas, tales como tiroides, cápsulas suprarrenales y cuerpo lúteo del ovario.

Hasta hace poco era rasgo inexplicable de la pituitaria el que sea posible extraer hormonas de su lóbulo posterior o neurohipófisis, a pesar de que en éste faltan células de características secretoras, como son las abundantes que se encuentran en el lóbulo anterior. Hasta la fecha se han extraído dos hormonas del lóbulo posterior: oxitocina y vasopresina; ambas son octopéptidos de estructura similar. La vasopresina aminora la eliminación de orina y de este modo evita la excesiva pérdida de agua; también provoca la elevación de la presión sanguínea. Experimentalmente se ha demostrado que el lóbulo posterior influye en la retención de agua en los más variados vertebrados [18]. La oxitocina hace contraer la musculatura lisa del útero y las fibras musculares de las mamas. Lo último facilita la expulsión de leche en la boca del lactante.

Como se ha dicho, el lóbulo posterior de la pituitaria carece de típicas células glandulares comparables a las que se observan en otras glándulas endocrinas. Al microscopio la neurohipófisis revela una red muy densa y afieltrada, formada por finas fibras nerviosas que yacen muy junto a las paredes de los capilares. Se ven también células gliales no nerviosas llamadas pituicitos. Tanto las fibras nerviosas como los pituicitos deben considerarse como productores potenciales de hormonas. Se ha dicho que en cultivos de células del lóbulo posterior donde los pituicitos aumenten se produce una sustancia de acción antidiurética [21] pero esto no está bien demostrado. Por ello, la atención de los investigadores se polariza en la red nerviosa como más probable fuente de vasopresina y oxitocina.

Toda hipótesis del origen neural de las hormonas del lóbulo posterior deberá aclarar: 1) el origen de las fibras nerviosas que terminan en dicho lóbulo; 2) si dichas fibras se diferencian funcional y morfológicamente de otras fibras nerviosas.

Ya Cajal, en 1899, señaló que las fibras nerviosas de la neurohipófisis son prolongaciones de neuronas del diencéfalo que yacen en él a modo de varios grupos por detrás del quiasma óptico. Actualmente se sabe que dichas fibras arrancan a partir de dos núcleos del hipotálamo: el supraóptico y el paraventricular (Fig. 13). En los vertebrados inferiores ambos núcleos se reducen a uno solo llamado preóptico. Además, fibras breves alcanzan el lóbulo posterior partiendo de núcleos situados en una prominencia del vientre del diencéfalo llamada *tuber cinereum*. Estos otros núcleos se denominan nucleos tuberales.

Se sabe desde tiempo que las células de los núcleos supraóptico y paraventricular (o del preóptico) poseen gránulos y gotitas coloides en la región perinuclear [39]. Tales inclusiones son exponente de actividad secretora. Esto dio pie a la expresión «neuronas glandulares». Hileras de gotículas segregadas (neurosecreción) pudieron ser demostradas en las fibras ameduladas que se dirigen hacia la hipófisis, mas no fue posible seguir su curso hasta el plexo nervioso del lóbulo posterior. Pero durante la última década y gracias a una técnica de tinción histológica selectiva que delata la sustancia segregada a lo largo de todo el camino ha sido posible trazar este desde los núcleos del diencéfalo [3], a través de la pared del infundíbulo, hasta la neurohipófisis

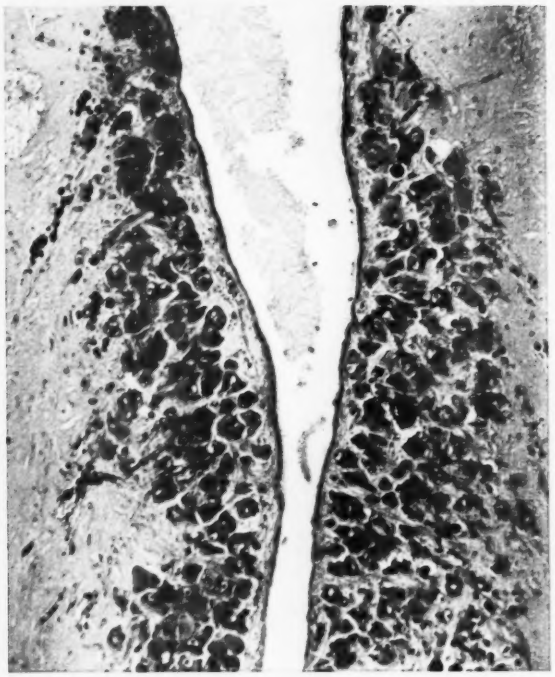


FIGURA 1 – *Núcleo preóptico de un pez teleósteo* (Gadus virens) *que muestra goticulas coloidales (en negro). Sección transversal del diencéfalo por la región central del ventriculo. Tinción con hematoxilina-cromalumbre.* (× 100 *aprox.*)

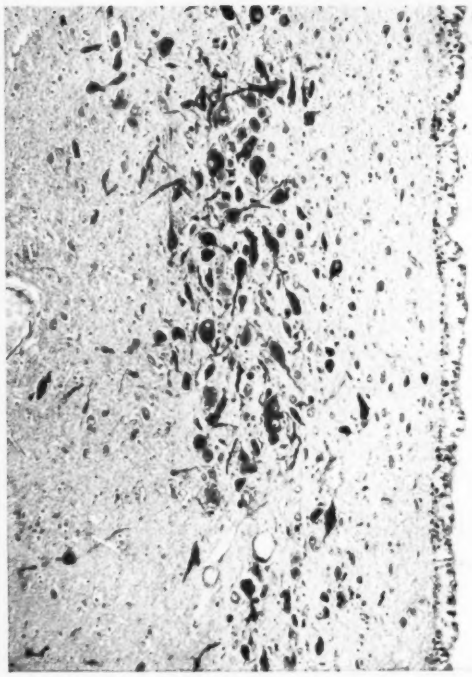


FIGURA 2 – *Sección frontal a través del núcleo paraventricular del perro, mostrando neuronas con neurosecreción (negro). A la derecha, tercer ventriculo. Hematoxilina-cromalumbre.* (× 100 *aprox.*)

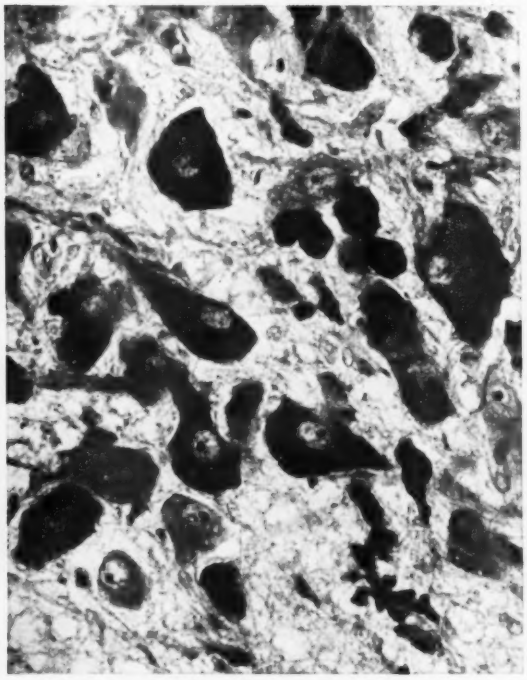


FIGURA 3 – *Grupo de neuronas en el núcleo supraóptico del perro, mostrando neurosecreción (negro). Hematoxilina-cromalumbre.* (× 500 *aprox.*)

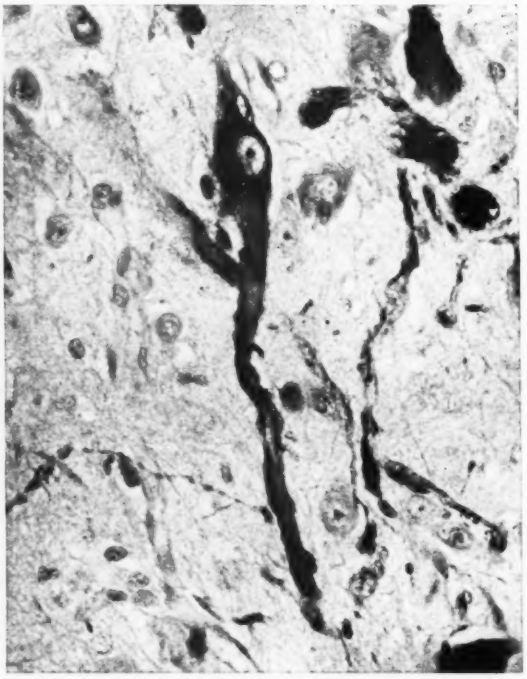


FIGURA 4 – *Neuronas del núcleo supraóptico del perro que contienen neurosecreción (negro) y exhiben una prolongación con igual contenido. Tinción y aumento como en la Fig. 3.*

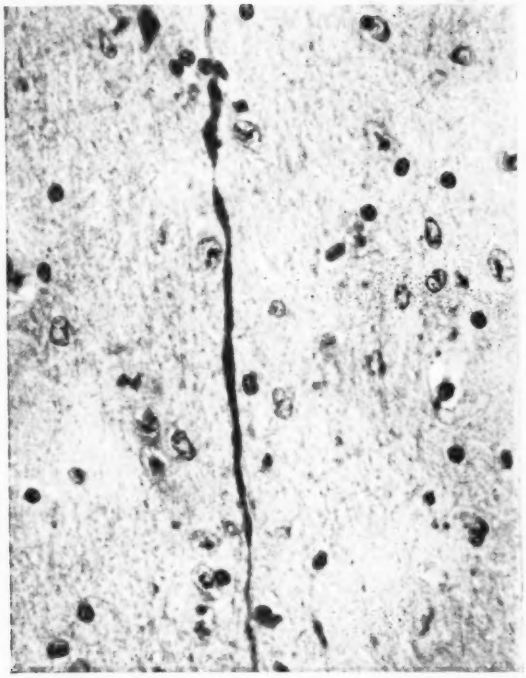


FIGURA 5 – *Fibra nerviosa aislada que contiene neurosecreción. Diencéfalo de perro. Tinción y aumento igual que en la Fig. 3.*

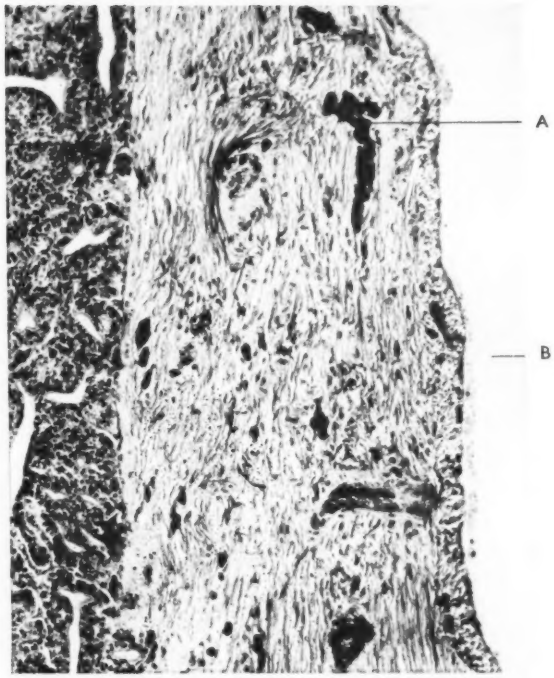


FIGURA 6 – *Fibras nerviosas que contienen secreción (A) de la vía neurosecretora en el cordón hipofisario de un perro. Izquierda, parte de la adenohipófisis; derecha, ventrículo (B). Los abultamientos de las fibras que contienen secreción, en negro. Tinción y aumento como en la Fig. 2.*

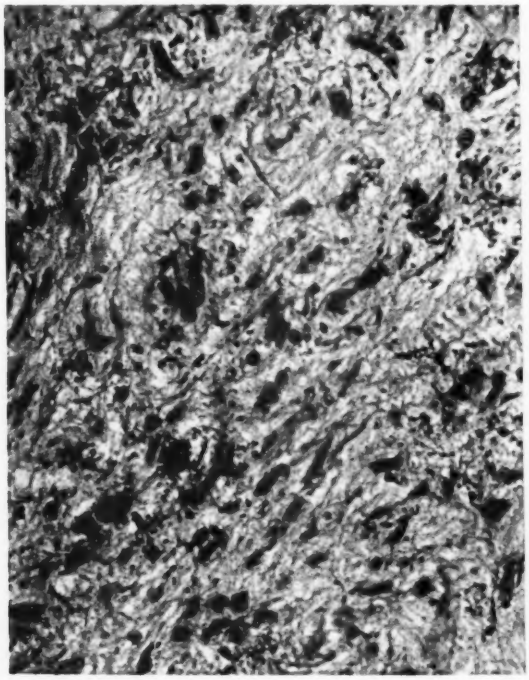


FIGURA 7 – *Lóbulo posterior de la pituitaria de perro que muestra pequeñas partículas neurosecretoras (negro). Hematoxilina-cromalumbre.* (× 480 *aprox.*)

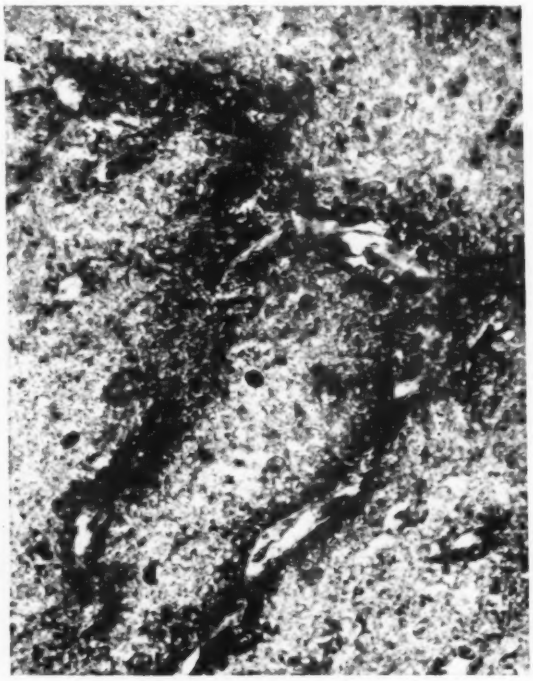


FIGURA 8 – *Lóbulo posterior de pituitaria de gato mostrando la concentración en neurosecreción de los capilares. Tinción y aumento como en la Fig. 7.*

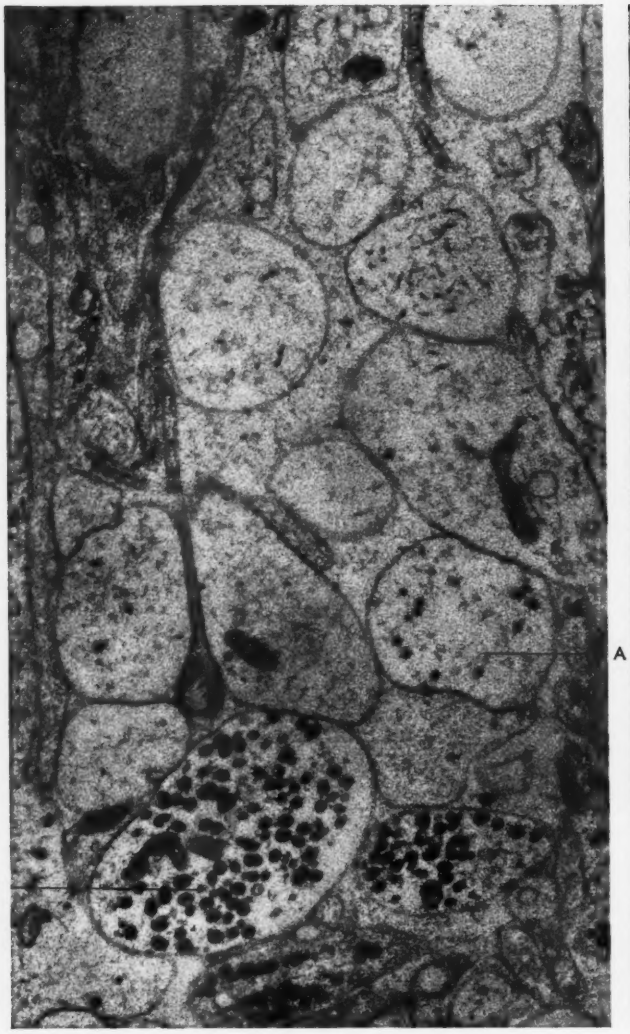


FIGURA 9 – *Microfotografía electrónica de la neurohipófisis de un pez teleósteo* (Gadus morrhua) *mostrando fibras nerviosas en parte libres de neurosecreción (A) y en parte con gránulos (B).* (× 14 000)

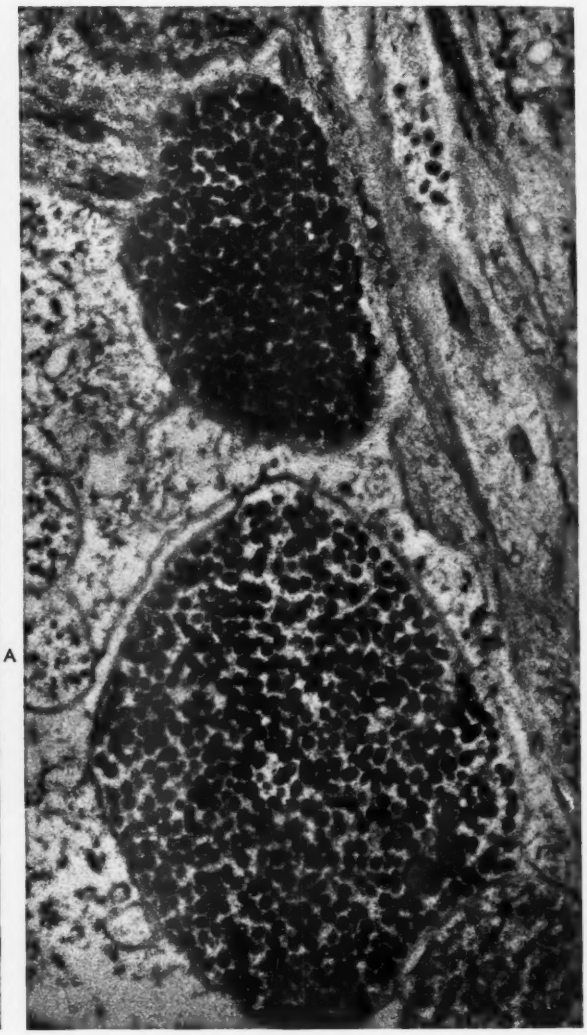


FIGURA 10 – *Microfotografía electrónica de dos fibras nerviosas cortadas transversalmente. Neurohipófisis de* Gadus morrhua. *Se observan numerosos gránulos de neurosecreción.* (× 14 000)

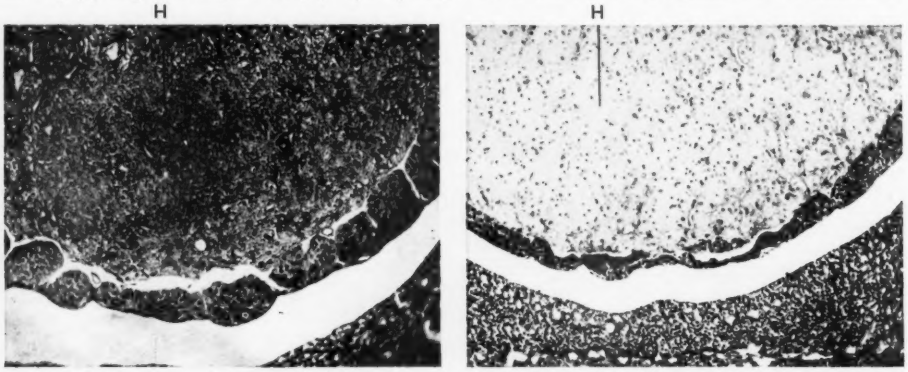


FIGURA 11 – *Lóbulo posterior de la pituitaria (H) de rata. Izquierda, rico en contenido neurosecretor; derecha, pobre en lo mismo: esto después de que el animal ha sufrido severas pérdidas de agua* [26]. *Hematoxilina-cromalumbre.* (× 74)

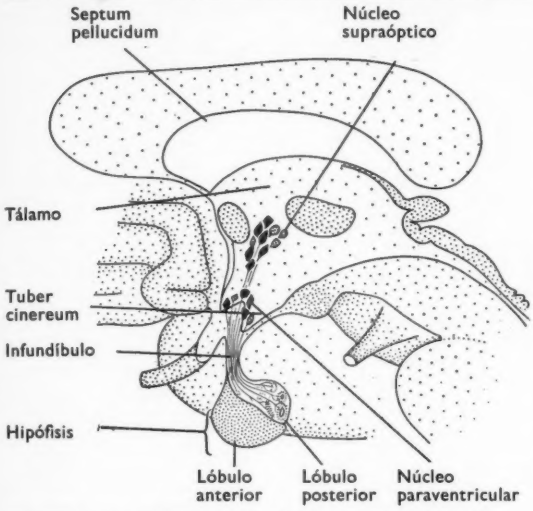


FIGURA 12 – *Esquema de la vía neurosecretora hipotálamo-pituitárica del hombre. Sección sagital con los núcleos supraóptico y paraventricular sobrepuestos. Las prolongaciones de las neuronas secretoras llegan hasta el lóbulo posterior* [39].

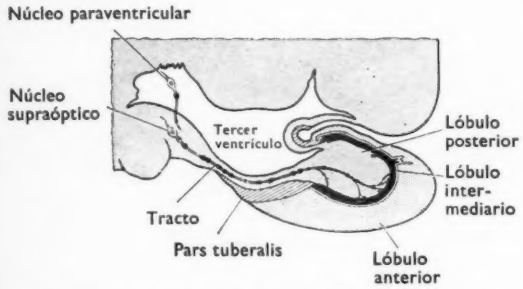


FIGURA 13 – *Curso del tracto hipofisario del perro.*

(Figs. 1–8). Hoy se conocen otros métodos, aparte de la hematoxilina-cromalumbre usada en un principio para demostrar células neurosecretoras [41, 42]. Hay incluso gránulos neurosecretores en los más finos retículos nerviosos del lóbulo posterior, aunque ya mucho menores que los existentes en fibras próximas al encéfalo o en los cuerpos de las células neurosecretoras. Rasgo singular de las fibras de estas vías neurosecretoras son ciertos abultamientos a menudo esferoidales, ricos en secreción. Corresponden a los ya de antiguo conocidos cuerpos de Herring que se interpretaban erróneamente como estructuras singulares. Lo que aún no se sabe es si las neuronas del núcleo tuberal de los mamíferos son realmente secretoras.

La estructura submicroscópica de las neuronas secretoras del diencéfalo también es diferente de la de otras neuronas. Las microfotografías (Figs. 9 y 10) muestran numerosos gránulos densos [32] que pueden ser seguidos hasta las terminaciones nerviosas del lóbulo posterior. Su diámetro vale 1200–1800 Å en mamíferos y 1500–3000 Å en vertebrados inferiores [5]. Acumulaciones de tales partículas constituyen la base de las figuras neurosecretoras observables al microscopio ordinario. Las gotas mayores resultan por confluencia de dichos gránulos.

El problema de la neurosecreción ha de ser abordado desde el punto de vista de la citología general. Las células glandulares, por ejemplo en el pancreas, producen gránulos de secreción en la región nuclear del citoplasma, la cual se caracteriza por ciertas estructuras laminosas, a saber, el ergastoplasma y el aparato de Golgi. Dado que dichas estructuras laminadas se concentran en la región nuclear de las neuronas glandulares, en tanto que la neurosecreción ocurre también en parte de las ramificaciones proyectadas por la célula y en sus arborizaciones finales del lóbulo posterior, surge el siguiente problema: ¿produce la región nuclear (pericarión) los gránulos y son éstos después transportados hasta el lóbulo posterior? En caso afirmativo, los núcleos supraóptico y paraventricular serían la sede de fabricación; las ramificaciones nerviosas el camino de transporte; y las arborizaciones finales el lugar de almacenamiento de la neurosecreción.

En favor del citado punto de vista hablan las observaciones de P. Weiss acerca de un flujo que parte del centro de la célula y sigue por los cilindroejes en fibras no secretoras. Además, se ha demostrado el movimiento distal de gránulos en cultivos de neuronas del núcleo paraventricular del perro [21]. Asimismo, después de dividirse el cordón hipofisario — lo cual equivale a interrumpir el camino neurosecretor — se produce un abultamiento de las fibras nerviosas situadas hacia el centro, acompañado de incremento en neurosecreción y pérdida de sustancia neurosecretora en las partes distales de las vías fibrilares; este cuadro es conocido también en el hombre después que se interrumpe la vía, y puede interpretarse como un estancamiento al nivel de la interrupción [21, 46]. Por último, la observación del cordón hipofisario de un pez teleósteo [10], y el estudio de análogos caminos neurosecretores en invertebrados (en los cuales la neurosecreción desempeña un importante papel) constituyen nuevos hechos en que basar el transporte de neurosecreción desde la región nuclear de la célula hasta sus terminaciones.

Así pues, parece que las agrupaciones de células neurosecretoras existentes en el diencéfalo están relacionadas a través de sus prolongaciones con el lóbulo posterior de la hipófisis. Este lóbulo no parece ser la sede de la producción de sustancia secretada, sino mero almacén de esos gránulos tingibles selectivamente y que denotan un aspecto característico vistos al microscopio electrónico. El lóbulo posterior libera vasopresina y oxitocina en el torrente circulatorio cada vez que es necesario. Tanto en invertebrados (insectos, crustáceos) como en vertebrados, es posible reconocer el desarrollo de un centro productor, de una vía transportadora, y de un órgano de reserva, tres cosas que se determinan también en otros sistemas activos neurosecretores [14, 38].

SIGNIFICADO FUNCIONAL

Pasamos a explicar el significado funcional del sistema. A este respecto son reveladoras las antiguas investigaciones sobre el control de la retención de agua. Los experimentos clásicos de H. W. Magoun y S. W. Ranson, C. Fisher, y W. R. Ingram [34, 35] en mamíferos demostraron que la sección del cordón de la pituitaria o infundíbulo (Fig. 12) es seguida de un fuerte flujo de orina. También se sabe desde hace mucho tiempo que la diabetes insípida del hombre (pérdida de agua que amenaza seriamente al organismo) resulta siempre por destrucción o seria lesión del lóbulo posterior o del cordón de la pituitaria. También se ha observado dicha diabetes en el hombre coincidiendo con desarrollos insuficientes de los núcleos supraóptico y paraventricular [12]. Por otra parte, la eliminación de orina disminuye cuando la presión sanguínea del estrato capilar del núcleo supraóptico sube más de lo normal. Esto fue demostrado por E. B. Verney gracias a un elegante experimento realizado con un perro [47]. Verney admite haya receptores en la región del núcleo supraóptico, cuya excitación causaría la liberación de sustancia antidiurética a partir del lóbulo posterior. Incluso inyectando acetilcolina en el núcleo supraóptico del perro, es posible reducir el flujo de orina [33].

Todas las observaciones citadas corresponden a una época en que no se comprendían todavía los fenómenos neurosecretores en el diencéfalo ni su relación con el lóbulo posterior de la pituitaria. Entonces las cosas se explicaban suponiendo que la neurohipófisis sólo es controlada mediante impulsos nerviosos, supeditados a condiciones experimentales o patológicas. Se creía que el factor principal es una estimulación o inhibición de la actividad del lóbulo posterior. El agente de esta actividad se daba por ignorado, o tomábanse como tal — erróneamente — los pituicitos. El nuevo planteamiento del problema es otro: ¿qué relación existe entre la actividad secretora del tracto supraóptico-hipofisario, presente en todos los vertebrados, y la retención de agua y electrolitos?

Si los gránulos neurosecretores en el lóbulo posterior de la pituitaria son la sustancia portadora de la hormona antidiurética o vasopresina, cabe esperar una alteración en la acumulación de sustancia neurosecretora (o en la intensificación de su teñido) en el caso en que cambien las condiciones de la retención de agua. En realidad, el contenido neurosecretor del lóbulo posterior se ve muy reducido en anfibios expuestos a la deshidratación y en mamíferos que padecen sed [26, 31, 45] (Fig. 11). Esta reducción puede interpretarse como descarga de hormona antidiurética que aminoraría la eliminación de agua por vía renal. Estudios con microscopio electrónico [17] muestran que la pérdida de tinción en el lóbulo posterior se corresponde con el vaciado de los gránulos antes descritos; éstos adoptan entonces el aspecto de vesículas. También es posible observar en material histológico cierta relación entre la lactancia (estimulada por oxitocina) y el contenido neurosecretor del lóbulo posterior. A las 24 horas del parto se acusa fuerte reducción en la reserva neurosecretora de la hipófisis de rata [45].

Todas las observaciones indicadas concuerdan con la hipótesis de que oxitocina y hormona antidiurética son de origen neurosecretor. Aún más demostrativos aparecen los efectos que siguen a extracciones experimentales verificadas en el encéfalo y neurohipófisis de perro [22, 11]; no sólo proporcionan información sobre la actividad antidiurética del sistema en cuestión, sino también sobre su acción en la presión sanguínea y sobre la acción de la oxitocina en útero y mamas.

Es posible aislar partes del hipotálamo que contienen neurosecreción comprobando, en cantidad y calidad, su contenido en hormonas, y haciendo después la comparación con otras partes del encéfalo. Así se demuestra (Fig. 14) la presencia de vasopresina y oxitocina en núcleos neurosecretores tanto como en el camino que los une al lóbulo posterior y en este mismo [22, 11], mientras que las regiones adyacentes a los núcleos carecen de dichas sustancias. Extractos de núcleos de cordón hipofisario y de lóbulo posterior, indistintamente, permiten provocar la reducción de orina y su concomitante concentración de

cloruro, elevación de presión sanguínea, contracción de células epiteliales de la mama y contracción de músculos lisos del útero. Otro hecho concordante es que las neurohipófisis del recien nacido y animal joven son muchísimo más pobres en hormonas que las del adulto [19, 20], y por tanto exhiben una tinción neurosecretora mucho más leve. Además, las neuronas de los núcleos supraóptico y paraventricular no se ven maduras, esto es, no delatan actividad secretora.

El hecho demostrado de que las neuronas secretoras del diencéfalo producen ciertas hormonas (debe, pues, hablarse de hormonas hipotalámicas en vez de hormonas del lóbulo posterior) [4] no excluye la posibilidad de que el sistema reciba estímulos nerviosos en el sentido neurofisiológico clásico. Se ha demostrado, por ejemplo, que la excitación eléctrica del «área de la sed» en el hipotálamo de cabra, no sólo provoca la inmediata reacción del beber, sino también antidiuresis y rezumo lácteo concomitantes [2]. En cambio, la excitación eléctrica del tracto supraóptico-hipofisario sólo ocasiona reducción de orina y rezumo de leche, pero no la reacción del beber.

Dijimos antes que las estructuras de oxitocina y vasopresina son conocidas. Pero, ¿qué son los gránulos revelados por el microscopio electrónico en las células secretoras? ¿Están formados por péptidos, por las propias hormonas, o son los portadores de éstas?

Las investigaciones químicas de R. Acher [1] prueban la existencia en el lóbulo posterior de una proteína inactiva (neurofisina) que acompaña a las hormonas y parece estar ligada a ellas. Cabe que dicha neurofisina sea la misma sustancia neurosecretora revelada en el microscopio por

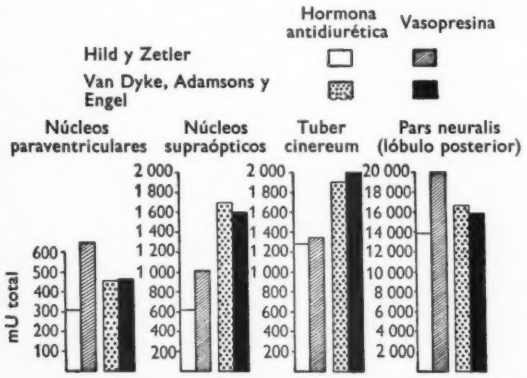


FIGURA 14 – *Contenido de vasopresina y oxitocina en las diferentes partes del sistema neurosecretor hipotálamo-hipofisario, según análisis* [11].

tinción específica. En todo caso se ignora qué parte de los gránulos neurosecretores corresponde a la neurofisina.

Gracias, pues, a ambos microscopios, el ordinario y el electrónico, y gracias a estudios farmacológicos y químicos, es posible adquirir una idea bastante completa del modo como opera este sistema neuronal central endocrinamente activo. Ningún otro sistema similar se ha revelado morfológicamente en los vertebrados. Pero sabemos poco de la relación funcional entre el sistema hipotálamo-hipofisario y las diversas partes del lóbulo anterior, a pesar de que los lóbulos de la pituitaria se hallan uno junto al otro. Se ha visto que ciertas fibras neurosecretoras pueden penetrar en la parte tuberal, pero caminan hacia el lóbulo intermediario, en el cual yacen en estrecho contacto con las células epiteliales (Fig. 13). En los peces las fibras neurosecretoras pasan muy por junto a la adenohipófisis. Además, fibras que contienen neurosecreción alcanzan los capilares en el cordón hipofisario [4, 39], de modo que las sustancias del sistema neurosecretor podrían ser transportadas por los vasos porta del sistema hipotálamo-hipofisario hasta el lóbulo anterior [15, 16].

Estos descubrimientos morfológicos deben considerarse conjuntamente con otras observaciones. Por ejemplo, los sapos mudan la piel bajo el influjo de lisina-vasopresina a condición de que el lóbulo anterior de la hipófisis no falte [24]. Vasopresina sintética parenteralmente administrada provoca la liberación de hormona adrenocorticotropa (HACT) del lóbulo anterior de la rata [29]. Puede demostrarse mayor producción de HACT en el cobayo (revelada indirectamente en la orina) después de suministrar pitresina, es decir, hormona del lóbulo posterior; este resultado falla en animales con pituitaria extirpada [43]. Además, R. Guillemin, M. Saffran, Schally y sus colaboradores [13, 16, 37] han demostrado *in vitro* aumento de HACT bajo el influjo de extractos del lóbulo posterior y del hipotálamo. Según los análisis cromatográficos la sustancia activa es un péptido diferente de la hormona antidiurética, oxitocina, acetilcolina, adrenalina, noradrenalina, serotonina, e histamina. Pero el péptido contiene cierto número de aminoácidos que se encuentran en la vasopresina. No puede excluirse la posibilidad de que el sistema neurosecretor del diencéfalo influya en la actividad del lóbulo anterior [15, 28]. Si tal influencia se demostrara con seguridad, vendría a aclararse el misterio que envuelve la íntima relación entre diencéfalo

(incluído lóbulo posterior) y la porción epitelial de la hipófisis.

Los miembros de los sistemas que controlan la secreción interna están relacionados. El órgano efector actúa como regulador sólo después de que ha recibido información del objetivo a través de vías neurales o endocrinas [9]; sólo así puede actuar consecuentemente. Es posible estudiar este mutuo juego incluso en el caso del sistema neurosecretor hipotálamo-hipofisario. Así, la excitación mecánica del pezón al mamar u ordeñar se propaga hasta el sistema nervioso central siguiendo una vía nerviosa y provoca la liberación de oxitocina. Esta es llevada por la sangre hasta la mama. Aquí determina la contracción de fibras musculares que rodean los alveolos y la leche es exprimida. Al cesar la excitación mecánica disminuye de nuevo la producción de oxitocina (véase la Fig. 15).

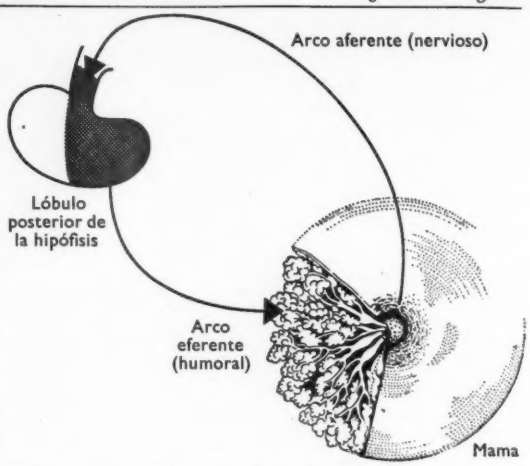


FIGURA 15 – *Diagrama de la interacción entre mama y neurohipófisis* [9].

El estudio de las relaciones indicadas se halla en sus comienzos. Recientemente se ha sugerido cierta relación entre el sistema hipotálamo-hipofisario y el órgano visual. Se han observado anomalías de retención de agua en ciertas personas ciegas. Además, se sabe que la luz puede provocar la actividad sexual de aves y mamíferos [48, 7, 8], y esto probablemente ocurre con mediación del hipotálamo y la parte epitelial de la hipófisis. Se cree que el lóbulo anterior sea estimulado con sustancias hipotalámicas que llegan hasta aquél por vía sanguínea. Recientes investigaciones cuidadosas sobre el sistema neurosecretor de una fringílida norteamericana (*Zonotrichia leucophrys gambelii*) apoyan dicho punto de vista. Se acusaron aquí a lo largo del año, claras diferencias cuantitativas en la neurosecreción de las células neurosecretoras del diencéfalo y en sus tractos eferentes, paralelamente con el desarrollo de gónadas y la intensidad y duración de la luz [30]. En fin, ha sido posible reducir experimentalmente las sustancias neurosecretoras de los núcleos y del túber alargando la duración del día-luz; al mismo tiempo aumentó en peso el animal y sus testículos.

En vista de tales resultados, que no es posible tratar aquí con más detalle, surge la interrogante de si las hormonas del diencéfalo que actúan sobre el lóbulo anterior son idénticas o parecidas a la vasopresina y la oxitocina, y si existen otras regiones — aparte de las áreas con células neurosecretoras — que controlen la actividad gonadotrópica de la pituitaria [44]. Para llegar a comprender cabalmente el complejo sistema regulador es preciso estudiar las relaciones entre diencéfalo, pituitaria y las otras glándulas endocrinas. Igual problema se presenta en la metamorfosis de animales inferiores, por ejemplo la lamprea de arroyo, en la que la secreción neurohipofisaria es primero abundante y más tarde cesa [25].

No se sabe aún de qué modo las hormonas hipotalámicas que se almacenan en los finales de la vía neurosecretora son liberadas para alcanzar los capilares del cordón y el lóbulo posterior mismo. Rara vez se ha hallado neurosecreción en la luz vascular. Acaso la transformación de los granos de neurosecreción en vesículas, revelada con el ultramicroscopio, según arriba se expuso, pudiera significar una tal liberación. Cabe sospechar que los métodos morfológicos no puedan arrojar ya más luz a este respecto.

La organización del mecanismo central que controla fenómenos vegetativos aparece bajo nueva luz desde que se ha descubierto esa actividad endocrina en ciertas neuronas del diencéfalo. Puede hablarse de una glándula endocrina diencefálica que actúa sobre órganos remotos y, al parecer, también sobre el vecino lóbulo anterior. Sin duda ambos sistemas, el endocrino y el nervioso autónomo, cooperan en la coordinación y mantenimiento de las funciones vegetativas del organismo.

REFERENCIAS

[1] ACHER, R. En «II. International Symposium on Neurosecretion, Lund, 1957», págs. 71–78. Springer-Verlag, Berlín. 1958.

[2] ANDERSSON, B. y MCCANN, S. M. *J. Physiol.*, **129**, 44, 1955.

[3] BARGMANN, W. *Z. Zellforsch.*, **34**, 610, 1949.

[4] *Idem.* «Das Zwischenhirn-Hypophysensystem». Springer-Verlag, Berlín. 1954; *Proc. 8th Symp. Colst. Res. Soc. Bristol*, **8**, 11, 1957.
[5] *Idem.* En «II. International Symposium on Neurosecretion, Lund, 1957», págs. 4–12. Springer-Verlag, Berlín. 1958.
[6] BARGMANN, W. y SCHARRER, E. *Amer. Scient.*, **39**, 255, 1951.
[7] BENOIT, J. *Rev. suisse Zool.*, **65**, 577, 1957.
[8] BENOIT, J. y ASSENMACHER, I. *J. Physiol.*, **427**, 237, 1955.
[9] BERDE, B. «Recent Progress in Oxytocin Research». American Lecture Ser. No. 360. Springfield, Illinois. 1959.
[10] CARLISLE, D. B. En «II. International Symposium on Neurosecretion, Lund, 1957», págs. 18–19. Springer-Verlag, Berlín. 1958.
[11] VAN DYKE, H. B., ADAMSONS, K., jr, y ENGEL, S. L. *Recent Progr. Hormone Res.*, **11**, 1, 1955.
[12] GAUPP, R., jr. *Klin. Wschr.*, 1012, 1934; *Fortschr. Neur. Psychiat.*, **13**, 257, 1941.
[13] GUILLEMIN, R. *Endokrinologie*, **34**, 193, 1957.
[14] HANSTRÖM, B. *Nature, Lond.*, **171**, 72, 1953.
[15] HARRIS, G. W. «Neural control of the pituitary gland». Edward Arnold (Publishers) Ltd., Londres. 1955.
[16] FIELDS, W. S., GUILLEMIN, R. y CARTON, C. A. (Compiladores). En «Hypothalamic-hypophysial interrelationships. A symposium». Springfield, Illinois. 1956.
[17] HARTMANN, J. F. *Z. Zellforsch.*, **48**, 291, 1958.
[18] HELLER, H. *Experientia*, **6**, 368, 1950.
[19] HELLER, H. y LEDERIS, K. *J. Physiol.*, **147**, 299, 1959.
[20] HELLER, H. y ZAIMIS, E. J. *Ibid.*, **109**, 162, 1949.
[21] HILD, W. *Acta neuroveg.*, **3**, 81, 1951; *Z. Zellforsch.*, **40**, 257, 1954.
[22] HILD, W. y ZETLER, G. *Experientia*, **7**, 189, 1951; *Arch. exp. Path. Pharmak.*, **213**, 139, 1951; *Pflüg. Arch. Ges. Physiol.*, **257**, 169, 1953; *Z. exp. Med.*, **120**, 236, 1953.
[23] HINSEY, J. C. y MARKEE, J. E. *Amer. J. Physiol.*, **106**, 48, 1953.
[24] JØRGENSEN, C. B. y OLESEN LARSEN, L. *Ergebn. Biol.*, **22**, 1, 1960.
[25] VAN DE KAMER, J. C. y SCHREURS, A. F. *Z. Zellforsch.*, **49**, 605, 1959.
[26] KRATZSCH, E. *Ibid.*, **36**, 371, 1951.
[27] MARKEE, J. E., EVERETT, J. W. y SAWYER, C. H. *Recent Progr. Hormone Res.*, **7**, 139, 1952.
[28] MARTINI, L., MIRA, L., PECILE, A. y SAITO, S. *J. Endocrin.*, **18**, 245, 1959.
[29] MCCANN, S. M. *Endocrinology*, **60**, 664, 1957.
[30] OKSCHE, A., LAWS, D. F., KAMEMOTO, F. J. y FARNER, D. S. *Z. Zellforsch.*, **51**, 1, 1959.
[31] ORTMANN, R. *Ibid.*, **36**, 92, 1951.
[32] PALAY, S. L. *Anat. Rec.*, **121**, 384 (Resumen No. 247), 1955; *Progr. Neurobiol.*, Vol. II, «Ultrastructure and Cellular Chemistry of Neural Tissue», págs. 31–49, 1957.
[33] PICKFORD, M. *J. Physiol.*, **106**, 264, 1947.
[34] RANSON, S. W., FISHER, C. y INGRAM, W. R. *Res. Publ. Ass. nerv. ment. Dis.*, **17**, 410, 1938; *Amer. J. Physiol.*, **109**, 57, 1934; *Endocrinology*, **23**, 175, 1938.
[35] RANSON, S. W. y MAGOUN, H. W. *Ergebn. Physiol.*, **41**, 56, 1939.
[36] RODECK, H. Suplemento al *Arch. Kinderheilk.*, No. 36. F. Enke Verlag, Stuttgart. 1958.
[37] SAFFRAN, M., SCHALLY, SEGAL y ZIMMERMANN. En «II. International Symposium on Neurosecretion, Lund, 1957», págs. 55–59. Springer-Verlag, Berlín. 1958.
[38] SANO, Y. y HARTMANN, F. *Z. Zellforsch.*, **48**, 538, 1958.
[39] SCHARRER, B. y SCHARRER, E. «Neurosekretion». En «Handbuch der mikroskopischen Anatomie des Menschen», Vol. VI. Springer-Verlag, Berlín. 1954.
[40] SCHARRER, E. y WITTENSTEIN, G. J. *Anat. Rec.*, **112**, 387, 1952.
[41] SCHIEBLER, T. H. *Naturwissenschaften*, **45**, 214, 1958.
[42] SLOPER, J. C. *Nature, Lond.*, **179**, 148, 1957; *Internat. Rev. Cytol.*, **7**, 337, 1958.
[43] SOBEL, H., LEVEY, R. S., MARMORSTON, J., SCHAPIRO, S. y ROSENFELD, S. *Proc. Soc. exp. Biol., N.Y.*, **89**, 10, 1955.
[44] SPATZ, H. «Zentrale Steuerung der Sexualfunktionen». En «II. Symposium Deutsche Gesellschaft für Endokrinologie, 1953». Springer-Verlag, Berlín. 1955.
[45] STUTINSKY, F. *Ann. Endocr.*, **14**, 722, 1953.
[46] *Idem. Bull. microsc. Appl., Mém. hors série*, **2**, 1, 1957.
[47] VERNEY, E. B. *Proc. roy. Soc., B*, **135**, 27, 1947; *Brit. med. J.*, 119, 1948.
[48] ZUCKERMAN, S. *J. Méd., Bordeaux*, **135**, 121, 1958.

Los derivados fosfonitrílicos

N. L. PADDOCK

Muchas propiedades de los compuestos fosfonitrílicos indican su posible uso como polímeros resistentes al calor. Estos compuestos presentan algunas características típicas de los compuestos orgánicos tales como carácter aromático y distintos tipos de isomería. Su estudio ha revelado ciertos factores nuevos que han de tenerse en cuenta en los polímeros de que forma parte el fósforo.

Los derivados fosfonitrílicos constituyen una serie de compuestos formados por repetición de la unidad $-\overset{|}{\underset{|}{P}}=N-$; su interés aumenta continuamente por varias razones [1]. Este interés tiene como causa la gran estabilidad térmica de algunos de estos compuestos, lo cual ha hecho pensar que quizá puedan utilizarse como base de materiales adecuados para ser empleados a temperaturas elevadas, tales como flúidos de uso en hidráulica, para transmisión de calor y como lubricantes, y sólidos con las propiedades mecánicas de los polímeros orgánicos conocidos. El reciente descubrimiento de su carácter aromático ha estimulado la investigación, ya que, en el campo orgánico, los compuestos aromáticos se distinguen por su estabilidad química y térmica, y parece por tanto razonable esperar propiedades semejantes en una serie aromática inorgánica.

El desarrollo de la química orgánica moderna, especialmente en su aspecto físico, se debe en parte a la estabilidad del esqueleto fundamental de carbono, que permite una gran variedad de sustituciones y el estudio del efecto de esas sustituciones en el mecanismo y la velocidad de las reacciones. De esta forma se ha llegado al conocimiento íntimo de las reacciones en los puntos ocupados por los átomos de carbono. En cambio, en la química inorgánica, las series homólogas estables son raras. Por tanto, puede esperarse que el estudio detallado de la excepcional serie fosfonitrílica, en que se pueden cambiar fácilmente los sustituyentes sin alterar el esqueleto P—N, proporcionará un conocimiento más profundo de la química del fósforo.

PREPARACIÓN

Existen dos métodos principales para la preparación de los derivados fosfonitrílicos. El primero se basa en la amonólisis de un compuesto apropiado de fósforo pentavalente, como por ejemplo en el conocido procedimiento utilizado por H. N. Stokes y ampliado por R. Schenk y G. Römer [2]. El pentacloruro de fósforo se calienta a reflujo con cloruro amónico en un disolvente inerte, con lo cual la reacción

$$PCl_5 + NH_4Cl \longrightarrow \frac{1}{n}(PNCl_2)_n + 4HCl$$

se desarrolla casi cuantitativamente y, escogiendo las condiciones apropiadas, el producto consiste casi exclusivamente de polímeros cíclicos. El trímero es el más abundante y el rendimiento en polímeros más elevados disminuye gradualmente al aumentar el grado de polimerización. Stokes aisló los distintos polímeros hasta el heptámero, obteniendo como residuo un aceite indestilable de la misma composición empírica, que supuso contenía polímeros cíclicos más elevados [3]. Trabajos más recientes han confirmado esta suposición. De forma parecida se pueden preparar otros derivados como por ejemplo los fenilos $\{PN(C_6H_5)_2\}_{3,4}$ a partir del $(C_6H_5)_2PCl_3$ [4], los metilos $\{PN(CH_3)_2\}_{3,4}$ [5], los bromuros [6] y unos cuantos derivados mixtos. El segundo método de preparación se basa en reacciones de sustitución sobre un derivado fosfonitrílico preexistente que normalmente es uno de los cloruros fáciles de obtener. Los fluoruros, alcóxidos, alquilamidas y otras muchas series de compuestos se han obtenido de esta forma. En lo que sigue vamos a referirnos a muchos derivados fosfonitrílicos que han sido obtenidos por uno de los métodos mencionados; todos ellos están formados por repetición de la unidad $-\overset{|}{\underset{|}{P}}=N-$.

COMPUESTOS TRÍMEROS

El derivado fosfonitrílico más conocido es el

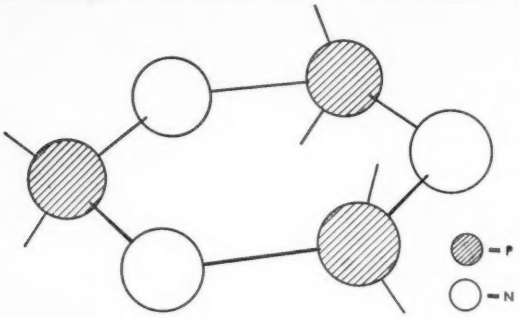


FIGURA 1 – *Estructura de la molécula de cloruro de trifosfonitrilo. Los átomos de cloro se han omitido.*

cloruro trímero $(PNCl_2)_3$, cuya fórmula se escribe muchas veces con tres dobles enlaces. En realidad, los enlaces en el anillo son, dentro del error experimental, todos iguales [7] y su longitud es de cerca de 1,60 Å, comparado con el valor 1,78 Å encontrado para el enlace sencillo P—N en el ión fosfamato $NH_2PO_3^{2-}$ [8]. La molécula tiene la estructura indicada en la Fig. 1. En el cristal es casi plana y las pequeñas desviaciones de la forma plana se deben probablemente a la repulsión mutua de los átomos de cloro pertenecientes a moléculas contiguas. Los estudios espectrográficos indican también que los enlaces en el anillo son idénticos y que el anillo es plano [9]. Estructuralmente, el cloruro del trímero es parecido al benceno y, químicamente, es menos reactivo que la mayoría de los compuestos de cloro y fósforo; por ejemplo, se puede conseguir la sustitución total de los átomos de cloro por grupos amino, pero la reacción requiere condiciones muy extremadas [10]. En la Fig. 2 se indican algunos de los compuestos obtenidos por sustitución. El derivado metoxi es soluble en agua [11] y elimina con facilidad dimetiléter en un proceso intermolecular; el isotiocianato se polimeriza con facilidad [12] aunque no se sabe si esto ocurre por apertura del anillo o del grupo NCS. El cloruro da una reacción de Friedel-Crafts con benceno, formándose un derivado difenílico [13]; el fluoruro $P_3N_3F_6$ se prepara a partir del cloruro y de fluosulfito potásico [14]. La hidrazida $P_3N_3(NH.NH_2)_6$ ha sido preparada recientemente [15], y puede dar las reacciones típicas del grupo sustituyente.

El comportamiento físico y químico de estos compuestos y otros semejantes es muy variado. Por ejemplo, el fluoruro funde a temperatura ligeramente superior a la ambiente y hierve a 51°, mientras que el derivado metílico funde a 195°; el primero es insoluble en líquidos polares, incluso en ácido sulfúrico concentrado, y el segundo se disuelve fácilmente en agua. Todos los derivados tienen en común el núcleo cíclico P_3N_3 en que la fuerza del enlace depende de la electronegatividad de los grupos a que está unido. Esto se indica cualitativamente en la Fig. 3 en que la frecuencia de vibración del anillo E′ se expresa en función de la electronegatividad de Pauling del átomo unido al anillo fosfonitrílico. La frecuencia observada que, como se ve, aumenta gradualmente con la electronegatividad de los ligandos, puede tomarse como una medida aproximada de la constante de alargamiento del enlace P—N y, por tanto, de su fuerza, que es máxima para el fluoruro.

También se conocen derivados sustituídos parcialmente. Algunos, como los clorobromuros, se obtienen a partir de haluros mixtos de fósforo [16], pero la mayoría se preparan mediante reacciones de sustitución. En muchos casos, tales como en la hidrólisis parcial o en la reacción de Friedel-Crafts, el derivado normalmente contiene un número par de cada uno de los grupos sustituyentes. Esto ha hecho suponer que la sustitución

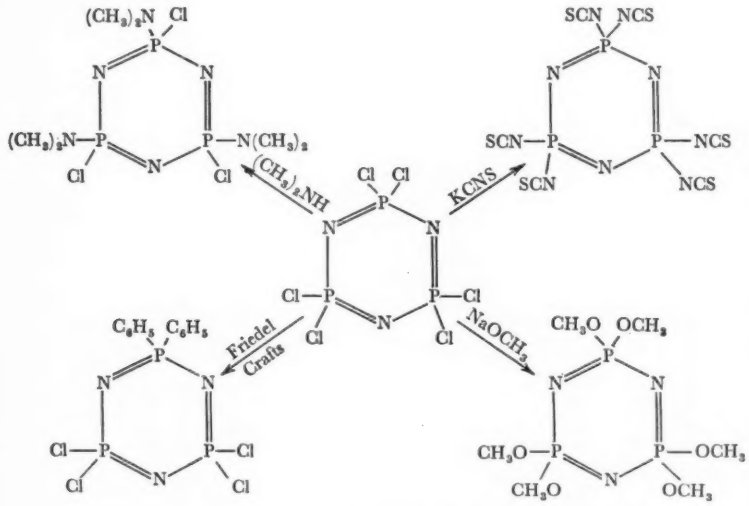


FIGURA 2 – *Algunas reacciones del cloruro de trifosfonitrilo.*

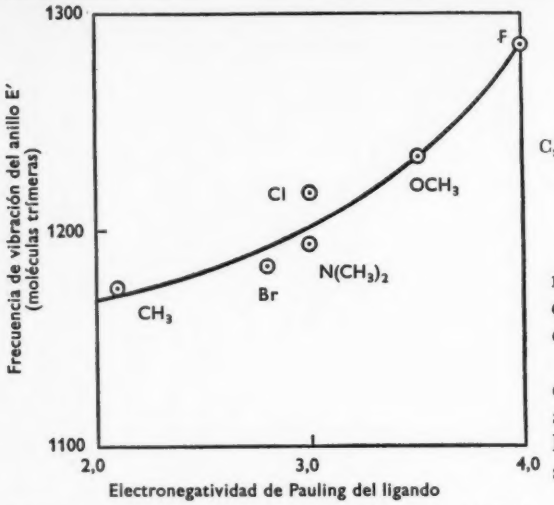


FIGURA 3 – *Efecto de la electronegatividad del ligando sobre la frecuencia de vibración del anillo.*

ocurre por pares de radicales idénticos en cada átomo de fósforo, habiéndose comprobado por degradación que esto es así en el compuesto del difenilo [13]. Pero es evidente que esta suposición falla en los compuestos con un número impar de sustituyentes y, además, se ha demostrado que el derivado dimetilamínico $P_3N_3Cl_3\{N(CH_3)_2\}_3$ es simétrico [17]. También se ha comprobado que en ciertos derivados disustituídos, los sustituyentes están unidos a átomos de fósforo distintos y que por tanto el concepto de sustitución pareada es una simplificación excesiva.

Por consiguiente, en los derivados mixtos existe la posibilidad de isomería; varios laboratorios trabajan activamente en este campo. Puesto que en los átomos de nitrógeno no ocurre ningún cambio, geométricamente el problema es idéntico al del ciclopropano. Químicamente, el interés descansa en el hecho de que los efectos de orientación sobre un segundo sustituyente dependen no sólo del anillo, como en el benceno, sino también del primer sustituyente. Es de esperar que estudios más completos que los llevados a cabo hasta ahora permitirán determinar la capacidad de este tipo de

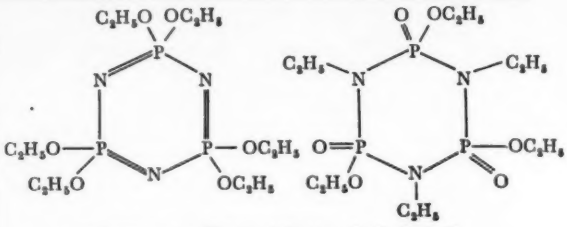


FIGURA 4 – *Esteres isómeros de fosfonitrilo.*

nucleo aromático para transmitir influencias químicas y la importancia relativa de los efectos estéricos y electrónicos.

Se han encontrado otros tipos de isomería. El cloruro trímero puede hidrolizarse para dar el ácido correspondiente, en el cual la sustitución de los átomos de cloro por grupos hidroxilo va seguida de un cambio tautomérico:

$$-P(OH)_2{=}N- \longrightarrow -PO(OH)-NH-$$

Este tipo de tautomería ceto-enólica es semejante a la que presentan los cianuratos, que poseen el nucleo C_3N_3; en ambos casos se pueden preparar derivados N-cloro a partir de las sales [18]. Se conoce también un tipo parecido de isomería estructural: R. Rätz y M. Hess [19] han obtenido el éster etílico normal por alcohólisis del cloruro y el éster N-etílico tratando la sal de plata del ácido trifosfonitrílico con yoduro de etilo (Fig. 4).

COMPUESTOS TETRÁMEROS

Al tratar el cloruro trímero con fluoruro de plomo se obtiene una mezcla de clorofluoruros

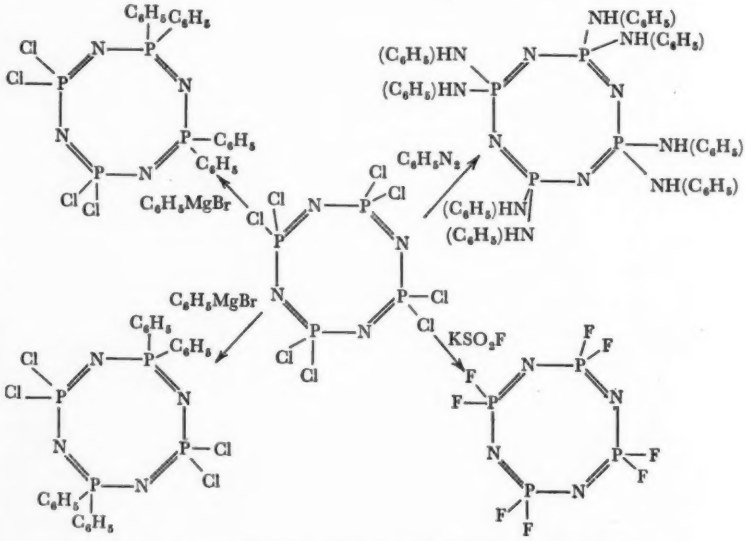


FIGURA 5 – *Algunas reacciones del cloruro de tetrafosfonitrilo.*

tetrámeros; ésta es la única reacción conocida dentro de esta serie en la que se altera el tamaño del anillo [20]. Por lo demás, los compuestos trímeros y tetrámeros se obtienen de manera semejante. En la Fig. 5 se indican algunas reacciones de sustitución del cloruro tetrámero. La anilida se prepara con facilidad, quedando los grupos NH disponibles para reacciones posteriores y, como en el trímero, el fluoruro es fácil de obtener [14]. El ácido tetrafosfonitrílico, preparado por hidrólisis del cloruro, es muy estable, y como su homólogo trímero, parece existir principalmente en la forma imido. Sin embargo, en el estudio del espectro infrarrojo de su dihidrato se ha visto que una característica notable del cristal es la formación de un puente de hidrógeno intermolecular; por tanto, la distinción entre las dos formas tautómeras no es tan importante como parece [21]. Como en los compuestos trímeros, los ésteres etílicos presentan isomería de estructura.

El cloruro tetrámero reacciona con el bromuro de fenilmagnesio dando además del derivado fenílico completamente sustituído, $P_4N_4(C_6H_5)_8$, dos tetrafenilfosfonitrilos [22], que son probablemente los isómeros de posición de la Fig. 6. En dos nuevos derivados tetrafeniltetracloro, preparados recientemente por amonólisis del $C_6H_5PCl_4$ [23], es probable que cada átomo de fósforo esté unido a un grupo fenilo, correspondiendo a dos de los cuatro posibles estereoisómeros de la Fig. 6.

Aunque el anillo se representa plano, experimentalmente se han encontrado por lo menos las dos configuraciones de la Fig. 7. La forma bañera se presenta en el cloruro [24] y la forma silla en el fluoruro. Se han descrito dos formas del derivado fenílico completamente sustituído [22] y es posible que tal compuesto exista en ambas configuraciones, debido a que el volumen de los grupos fenilo impide la inter-

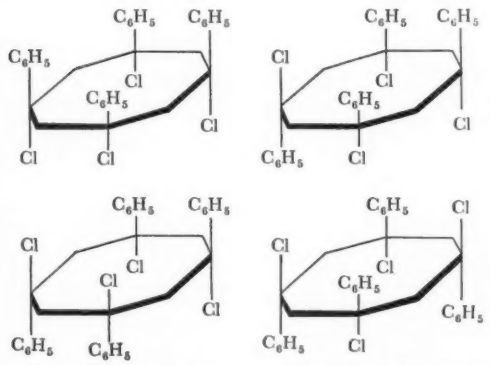


FIGURA 6 – *Estereoisómeros del tetrámero* $(PNC_6H_5Cl)_4$.

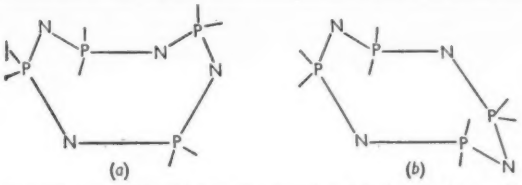


FIGURA 7 – *Esqueletos estructurales del cloruro* (a) *y del fluoruro* (b) *de tetrafosfonitrilo.*

conversión. Las posibilidades para un anillo de ocho átomos son desde luego más numerosas que las dos formas en bañera y en silla características de los anillos de seis átomos; por ejemplo, en medios distintos se han encontrado experimentalmente varios tipos de simetría para el ión tetrametafosfato $(—PO_2—O—)_4^{4-}$ [25].

Esta isomería de configuración aumentaría considerablemente el número de isómeros y, si una cualquiera de las dos formas de la Fig. 7 fuese rígida, existirían dos isómeros *cis*-1 : 2. En la práctica, lo más probable es que las barreras que se oponen al movimiento interno sean pequeñas y que un anillo plano sea adecuado para representar las propiedades químicas. Los isómeros que se obtienen, son por consiguiente, análogos a los derivados del ciclo-butano.

Aunque no se han estudiado con el mismo detalle, las propiedades químicas de los compuestos tetrámeros son muy parecidas a las de los derivados del anillo de seis átomos. A primera vista esto es sorprendente pues el ciclo-octatetraeno, el compuesto correspondiente en la serie del carbono, es una sustancia no saturada típica, carente en absoluto de propiedades aromáticas. Puesto que la estructura del esqueleto del cloruro de tetrafosfonitrilo es tan parecida a la del ciclo-octatetraeno (Fig. 7*a*) podrían también esperarse diferencias notables entre los anillos de seis y ocho átomos de la serie fosfonitrílica. Sin embargo, los enlaces del compuesto de fosfonitrilo tienen todos la misma longitud [24], mientras que en el ciclo-octatetraeno alternan los enlaces dobles y sencillos [26]. Es evidente que existe alguna característica estructural que permite a los anillos superiores retener las propiedades características de los compuestos trímeros en una forma que no es posible en las series carbocíclicas.

POLÍMEROS SUPERIORES

Las propiedades aromáticas de los anillos de ocho o más átomos establecen una diferencia fundamental entre los fosfonitrilos y sus análogos orgánicos. Stokes aisló tres términos más de la serie de los cloruros [3] y, últimamente, de una

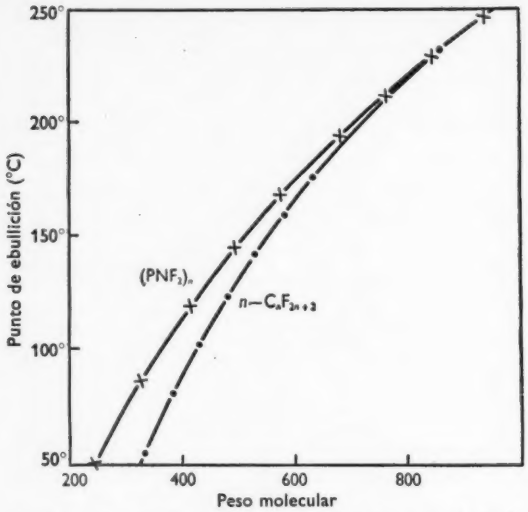


FIGURA 8 – *Punto de ebullición de los fluoruros de fosfonitrilo* $(PNF_2)_n$ *comparado con el de los n-fluoruros de carbono* [36].

mezcla de cloruros semejante al residuo indestilable ya mencionado se han conseguido obtener los fluoruros hasta el $(PNF_2)_{17}$ [27]. Tanto los cloruros como los fluoruros se polimerizan al calentar a 350° dando un sólido parecido al caucho.

Todavía no se ha publicado ningún trabajo referente a las propiedades de estos polímeros elevados, pero se sabe que las reacciones de los cloruros superiores con reactivos nucleófilos como el ion hidroxilo son poco más activas que las del trímero y tetrámero. Sus espectros de resonancia magnética nuclear prueban que son todos monocíclicos y el espectro infrarrojo de los fluoruros muestra que la variación de la constante de alargamiento del enlace P—N al ascender en la serie es pequeña y gradual. Aunque se carece de datos exactos acerca de la longitud de los enlaces y de los ángulos de valencia del pentámero y de las moléculas superiores, investigaciones de índole química y física muestran que los polímeros superiores poseen esencialmente las mismas características que el trímero y el tetrámero.

La diferencia principal consiste en una mayor flexibilidad de la molécula, como se deduce de las propiedades físicas de los fluoruros [27]. En muchas propiedades se parecen a los fluorocarbonos parafínicos normales, especialmente en los puntos de ebullición que se han representado como función del peso molecular para ambas series en la Fig. 8. Por consiguiente, las fuerzas intermoleculares son también pequeñas. La viscosidad en las dos series es, no obstante, muy distinta, pues al aumentar el tamaño de las moléculas, la transmisión de cantidad de movimiento, depende más y más de la facilidad de movimiento dentro de la molécula. Los trabajos de C. W. Bunn con politetrafluoretileno [28] han mostrado que el esqueleto de carbono de esta molécula está rodeado de una capa compacta de átomos de flúor. En los fluorocarbonos bajos, tal empaquetamiento da rigidez a la molécula y el movimiento molecular tiene lugar en grandes segmentos. La energía de activación del flujo viscoso constituye por tanto una proporción elevada de la energía de vaporización. En cambio, la molécula de los fluoruros de fosfonitrilo está menos apiñada y la interacción entre átomos de flúor en átomos distintos de fósforo es menor. En consecuencia, la viscosidad de los fluoruros de fosfonitrilo es baja — a 20° C, el pentámero y el agua tienen aproximadamente la misma viscosidad — y, debido a su flexibilidad elevada, la energía de activación del flujo viscoso, equivalente al coeficiente de variación de la viscosidad con la temperatura, es también pequeña. Sus valores, en realidad, son inferiores a los de los dimetilsiloxanos correspondientes, que son excepcionales en este respecto, como puede verse al comparar las energías de activación: 2,54 kcal/mol para el $(PNF_2)_5$ y 3,42 kcal/mol para el $\{(CH_3)_2SiO\}_5$.

EL ENLACE QUÍMICO EN LA SERIE FOSFONITRÍLICA

Hemos visto que los fosfonitrilos se caracterizan por un sistema cíclico cuyas propiedades químicas y estructurales indican carácter aromático que se manifiesta en una variedad de tamaños de anillo superior a la que es posible en los sistemas carbocíclicos y que, además, está relacionada con una gran flexibilidad.

El fósforo trivalente no forma, en general, enlaces múltiples y es raro que forme parte de sistemas no saturados. En la molécula de nitrógeno N_2 existe un enlace triple, mientras que la molécula de fósforo es tetraédrica y cada átomo

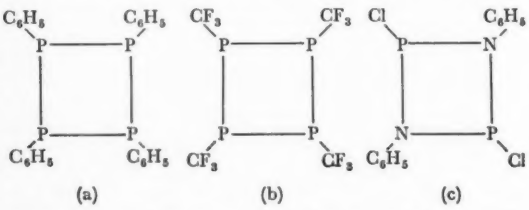


FIGURA 9 – *Compuestos de fósforo que contienen anillos de cuatro átomos.*

está unido a cada uno de los restantes mediante un enlace sencillo. Análogamente, el doble enlace entre los átomos de nitrógeno del azobenceno está suficientemente bien definido para permitir la existencia de isómeros geométricos estables. Por el contrario, el compuesto análogo de fósforo es dímero y contiene probablemente un anillo de cuatro átomos, como se indica en la Fig. 9*a*. También están polimerizados los derivados trifluorometil descritos recientemente por A. B. Burg [29]; se han descrito asimismo el tetrámero $(CF_3P)_4$ (Fig. 9*b*) y el pentámero $(CF_3P)_5$. En la serie fósforo–nitrógeno se ha comprobado [30] también la existencia de un anillo de cuatro átomos en el compuesto $(C_6H_5N : PCl)_2$ de modo que en realidad la molécula no contiene ningún doble enlace verdadero (Fig. 9*c*).

Un doble enlace normal, tal como el que existe entre el carbono y el oxígeno, está formado por la superposición de dos orbitales de simetría cilíndrica respecto a la dirección del enlace (enlace σ) y de dos orbitales 2p perpendiculares a la dirección del enlace (enlace π). En la Fig. 10*a* se ilustra la formación de un enlace π de esta forma; para evitar confusiones se ha omitido el enlace σ. Las formas de los orbitales indican las regiones de densidad electrónica elevada; la superposición de regiones del mismo signo corresponde a un incremento de densidad y por tanto, a la formación de un enlace covalente. En cambio, el orbital 3p del átomo de fósforo no forma un enlace π efectivo porque es demasiado direccional, está demasiado protegido y está demasiado separado del átomo contiguo. No obstante, en los derivados del fósforo pentavalente, todos los orbitales 3p se emplean en la formación de cuatro enlaces híbridos y los orbitales 3d quedan disponibles para formar enlaces. El diagrama de superposición para el enlace fosforilo, por ejemplo, en el $POCl_3$, se indica en la Fig. 10*b* [31]. Un enlace π de este tipo es posible, porque la superposición ocurre a suficiente distancia del núcleo y no es muy sensible a la distancia internuclear. Como consecuencia de las

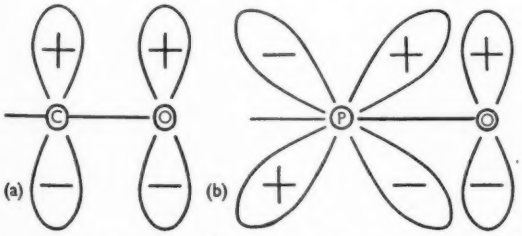


FIGURA 10 – *Formación de un enlace π en el radical carbonilo* (a), *y fosforilo* (b).

formas distintas de los orbitales considerados, la región de máxima densidad electrónica está mucho más cerca del átomo de oxígeno que del de fósforo, lo cual crea automáticamente una polaridad apreciable. Por consiguiente, la distinción entre las formulaciones P=O y $\overset{+}{P}$—$\overset{-}{O}$ no es tan grande como se cree corrientemente, y la polaridad elevada del grupo fosforilo no es incompatible con la existencia de un doble enlace covalente puro. La intensidad de este enlace es la fuerza impulsora que hace que la isomerización

$$P(OCH_3)_3 \longrightarrow CH_3PO(OCH_3)_2$$

y otras muchas reacciones semejantes transcurran con gran facilidad.

De la misma forma que la existencia de enlaces π localizados en el etileno y en el radical carbonilo obligan a admitir la existencia de enlaces no localizados en el benceno, el concepto de superposición d—p expuesto anteriormente puede extenderse también a sistemas no localizados, de los que probablemente la serie de los compuestos fosfonitrílicos cíclicos es un ejemplo típico [32].

La diferencia en la simetría de los orbitales d y p introduce una nueva modificación: el orbital p cambia de signo por inversión respecto a su centro, mientras que el orbital d conserva el signo. Esto trae consigo la inversión de los niveles moleculares de energía. Como resultado de esta inversión, si la electronegatividad de los dos átomos del anillo es distinta, el nivel máximo ocupado en los compuestos cíclicos es no-degenerado. De esta forma se originan niveles electrónicos cerrados con un número par de electrones π y las características estructurales e inactividad química del benceno aparecen, no sólo en los derivados fosfonitrílicos trímeros, sino también en anillos de ocho o más átomos [32].

El origen de este efecto se explica en la Fig. 11 que muestra los diagramas de superposición de enlaces π, p—p y d—p. En la Fig. 11*a* los signos de todos los orbitales p son iguales y la deslocalización es completa; el diagrama corresponde por tanto al nivel más bajo del benceno, en el que los electrones π se mueven en el mayor volumen posible y por consiguiente en el que su energía cinética es mínima. En la Fig. 11*b* los orbitales p y d tienen también el mismo signo, pero su diferente propiedad de inversión, introduce un nodo de densidad electrónica nula por cada grupo PN. Los electrones de este orbital molecular están relativamente confinados y poseen energía elevada. En las Figs. 11*c* y 11*d*, los orbitales

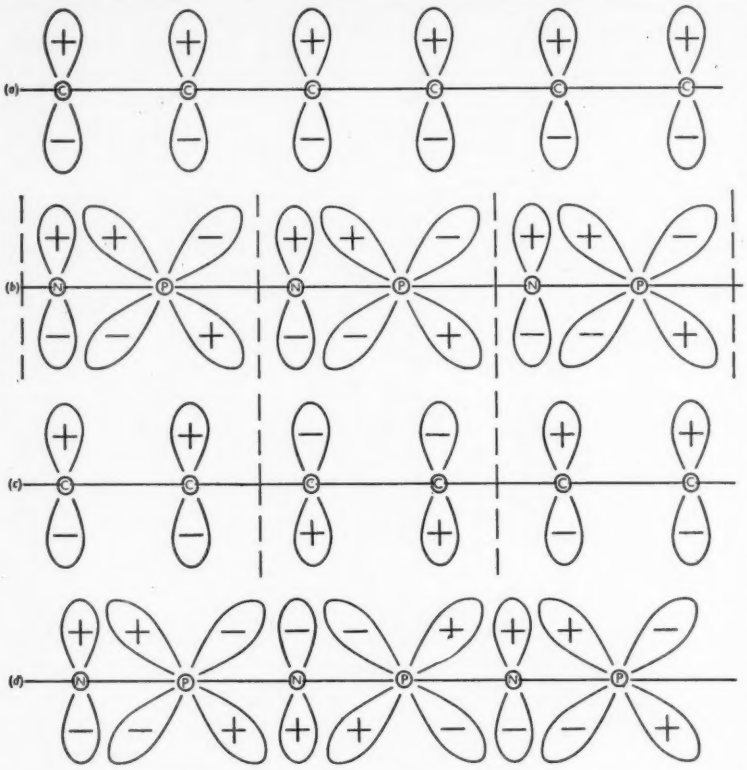


FIGURA 11 – *Superposición de diagramas para la formación de enlaces π no localizados a partir de orbitales p* (a *y* c), *y a partir de orbitales d y p alternados* (b *y* d). *Las líneas puntilladas corresponden a nodos interatómicos.*

alternan en signo por pares. Esto permite el apareamiento perfecto de los orbitales d—p y esta distribución corresponde por tanto a la energía mínima. Con la misma ordenación de signos, en el diagrama de superposición p—p aparecen nodos con el consiguiente aumento de energía con respecto al de la Fig. 11*a*.

Los diagramas de los niveles de energía para las moléculas del trímero y del tetrámero pueden verse en la Fig. 12: el máximo orbital ocupado no es degenerado en ninguno de estos niveles. Se distinguen del del ciclo-octatetraeno en el que este orbital es degenerado y sólo parcialmente ocupado, lo que determina una mayor reactividad que en el benceno.

DESARROLLO FUTURO

Se ha visto que la aparición de carácter aromático del tipo descrito depende de la electronegatividad de los grupos unidos al fósforo [32, 33]; en teoría, la energía de los electrones π debería aumentar con la electronegatividad; en la Fig. 3 puede verse que las frecuencias de vibración del anillo varían de la forma prevista. También puede preverse que la energía de los electrones π debe aumentar gradualmente hasta cierto límite al aumentar el tamaño del anillo [32]. Esta cantidad no se puede medir directamente; incluso la energía total del enlace depende de una división arbitraria de la energía molecular en términos correspondientes a los enlaces P—Cl y P—N. No obstante, parece que, tal como era de esperar, existe un reforzamiento del anillo al pasar del trímero al tetrámero.

A primera vista parece que la flexibilidad de los fluoruros es superior a la que corresponde a un sistema de electrones π. La condición de planaridad para este tipo de núcleo aromático no es muy estricta, puesto que las restricciones impuestas a la orientación de los orbitales d debidas a la simetría de los orbitales s y p subyacentes son muy ligeras y, por consiguiente, se pueden acomodar en forma apropiada para dar la mejor superposición con sus vecinos y, además, son grandes y relativamente difusos. El amplio espaciado entre los grupos sustituyentes explica la posibilidad de torsión; la rigidez torsional de los

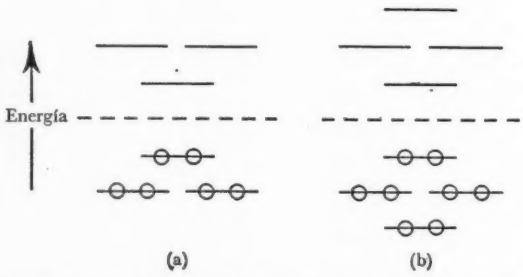


FIGURA 12 – *Diagrama de los niveles energéticos de las moléculas de fosfonitrilo trímero* (a) *y tetrámero* (b). *Los niveles señalados con círculos corresponden a los orbitales de enlace. Las distancias debajo de la línea punteada representan energías de estabilización respecto a un cero arbitrario. Los niveles encima de la línea corresponden a orbitales de anti-enlace.*

enlaces C—C en los hidrocarburos tiene su origen en la interacción de los sustituyentes unidos a átomos de carbono contiguos. No obstante, en una teoría más elaborada parece necesario incluir la contribución de los demás orbitales d.

Desde el punto de vista químico, esta inclusión es aún más importante, pues la reactividad química depende, por lo menos, tanto de los orbitales no ocupados y, por consiguiente, capaces de formar enlaces al ser atacados por un reactivo con electrones sobrantes, como de los que ya forman enlace. Los caracteres generales de la estructura y reacciones de los fosfonitrilos pueden explicarse mediante la teoría expuesta; es probable que los detalles se resuelvan, como en química orgánica, mediante estudios cinéticos y de mecanismos, en especial de las reacciones de sustitución.

Sin embargo, quedan aún algunos hechos generales importantes por explicar. Muchos compuestos de fósforo son notables por la facilidad con que sufren cambios importantes de estructura; por ejemplo, la isomerización del fosfito trimetílico ya mencionada. En la serie de los fosfonitrilos ocurren reacciones parecidas. La sustitución de un grupo imido por un átomo de oxígeno en el ión tetrafosfonitrilato ocurre con facilidad [34] y I. I. Bezman [35] ha encontrado recientemente que el cloruro de trifosfonitrilo reacciona con benzoato sódico dando benzonitrilo y metafosfato sódico, sustituyendo —P=N—P= por —P—O—P—. Las barreras que se oponen al equilibrio son pues con frecuencia bajas, aunque se desconocen las razones. La interpretación de estas reacciones en los fosfonitrilos y en otros campos de la química del fósforo y otros elementos de segundo orden puede constituír el punto de partida para próximos avances.

El autor desea expresar su agradecimiento al Prof. D. P. Craig por permitir la reproducción de la Fig. 12 y al Dr. A. F. Childs por sus provechosas sugerencias.

REFERENCIAS

[1] Estudios de carácter general con referencias más completas: AUDRIETH, L. F., STEINMAN, R. y TOY, A. D. F. *Chem. Rev.* **32**, 109, 1943. PADDOCK, N. L. y SEARLE, H. T., en «Advances in Inorganic Chemistry and Radiochemistry», Vol. 1, Academic Press Inc., Nueva York. 1959.

[2] SCHENK, R. y RÖMER, G. *Ber. dtsch. chem. Ges.*, **57***B*, 1343, 1924.

[3] STOKES, H. N. *Amer. chem. J.*, **19**, 782, 1897.

[4] HABER, C. P., HERRING, D. L. y LAWTON, E. A. *J. Amer. chem. Soc.*, **80**, 2116, 1958.

[5] SEARLE, H. T. *Proc. chem. Soc., Lond.*, 7, 1959.

[6] BODE, H. *Z. anorg. Chem.* **252**, 113, 1943.

[7] POMPA, F. y RIPAMONTI, A. *Ric. Sci.*, **29**, 1516, 1959; WILSON, A. y CARROLL, D. F. *J. chem. Soc.* (En prensa.)

[8] HOBBS, E., CORBRIDGE, D. E. C. y RAISTRICK, B. *Acta Cryst.*, **6**, 621, 1953.

[9] DAASCH, L. W. *J. Amer. chem. Soc.*, **76**, 3403, 1954.

[10] AUDRIETH, L. F. y SOWERBY, D. B. *Chem. and Ind.*, 748, 1959.

[11] DISHON, B. *J. Amer. chem. Soc.*, **71**, 2251, 1949.

[12] OTTO, R. J. A. y AUDRIETH, L. F. *Ibid.*, **80**, 5894, 1958.

[13] BODE, H. y BACH, H. *Ber. dtsch. chem. Ges.*, **75***B*, 215, 1942.

[14] SEEL, F. y LANGER, J. *Angew. Chem.*, **68**, 461, 1956.

[15] OTTO, R. J. A. y AUDRIETH, L. F. *J. Amer. chem. Soc.*, **80**, 3575, 1958.

[16] RICE, R. G., DAASCH, L. W., HOLDEN, J. R. y KOHN, E. J. *J. inorg. nucl. Chem.*, **5**, 190, 1958.

[17] BECKE-GOEHRING, M., JOHN, K. y FLUCK, E. *Z. anorg. Chem.*, **302**, 103, 1959.

[18] TAYLOR, M. C. Patentes norteamericanas 2.796.321, 2.796.322 (18 de junio de 1957).

[19] RÄTZ, R. y HESS, M. *Ber. dtsch. chem. Ges.*, **84**, 889, 1951.

[20] SCHMITZ-DUMONT, O. y KÜLKENS, H. *Z. anorg. Chem.*, **238**, 189, 1938.

[21] CORBRIDGE, D. E. C. *Acta Cryst.*, **6**, 104, 1953.

[22] BODE, H. y THAMER, R. *Ber. dtsch. chem. Ges.*, **76***B*, 121, 1943.

[23] SHAW, R. A. y STRATTON, C. *Chem. and Ind.*, 52, 1959.

[24] KETELAAR, J. A. A. y DE VRIES, T. A. *Rec. Trav. chim. Pays-Bas*, **58**, 1081, 1939.

[25] STEGER, E. *Z. anorg. Chem.*, **294**, 146, 1958.

[26] BASTIANSEN, O., HEDBERG, L. y HEDBERG, K. *J. chem. Phys.*, **27**, 1311, 1957.

[27] CHAPMAN, A. C., PADDOCK, N. L., PAINE, D. H., SEARLE, H. T. y SMITH, D. R. *J. chem. Soc.* (En prensa.)

[28] BUNN, C. W. y HOWELLS, E. R. *Nature, Lond.*, **174**, 549, 1954.

[29] MAHLER, W. y BURG, A. B. *J. Amer. chem. Soc.*, **80**, 6161, 1958.

[30] MICHAELIS, A. y SCHROETER, G. *Ber. dtsch. chem. Ges.*, **27**, 490, 1894.

[31] CRAIG, D. P., MACCOLL, A., NYHOLM, R. S., ORGEL, L. E. y SUTTON, L. E. *J. chem. Soc.*, 332, 1954.

[32] CRAIG, D. P. *Ibid.*, 997, 1959; en «Theoretical Organic Chemistry», pág. 20, Butterworth, Londres, 1959; *Chem. Soc. spec. Publ. No.* 12, pág. 343, 1958. CRAIG, D. P. y PADDOCK, N. L. *Nature, Lond.*, **181**, 1052, 1958.

[33] CRAIG, D. P. y MAGNUSSON, E. A. *J. chem. Soc.*, 4895, 1956.

[34] NARATH, A., LOHMAN, F. H. y QUIMBY, O. T. *J. Amer. chem. Soc.*, **78**, 4493, 1956.

[35] BEZMAN, I. I. Trabajo presentado a la 136ª Asamblea Nacional de la *American Chemical Society*. Septiembre de 1959.

[36] HASZELDINE, R. N. y SMITH, F. *J. chem. Soc.*, 603, 1951.

La acreción de materia cósmica a la Tierra

H. PETTERSSON

Sólo recientemente ha sido posible obtener muestras suficientes, correspondientes a períodos de tiempo geológicamente considerables, para estimar la variación temporal y geográfica de la caída de materia cósmica a la Tierra. Este artículo revisa los resultados de investigaciones recientes en lechos marinos profundos y de muestras de aire tomadas en observatorios alejados de los núcleos de actividad industrial.

A principios de 1874 el geólogo y explorador sueco A. E. Nordenskiöld — famoso por su descubrimiento del paso del Noreste en el *Vega*, en 1878–80 — describía a la Real Academia de Ciencias de Estocolmo [1] un estudio que había hecho de muestras de nieve caídas cerca de la ciudad el mes anterior. Había recobrado de ellas una pequeña cantidad de polvo magnético oscuro que se demostró contenía hierro metálico. Posteriormente, durante expediciones árticas, obtuvo material semejante de otras muestras de nieve virgen: mediante análisis se demostró la presencia no sólo de hierro sino de fósforo, cobalto y, probablemente, níquel. Nordenskiöld expresó la opinión de que el material magnético era de origen cósmico. Más tarde en un estudio detallado [2] trató de evaluar la cantidad total de polvo cósmico que cae sobre la superficie de la Tierra. Sacó la conclusión de que dicha cantidad era entre medio y un millón de toneladas al año.

Unos dos años después de la descripción original de Nordenskiöld, John Murray — que había regresado recientemente a Inglaterra al acabar el viaje de circunvalación del *Challenger* — describió los depósitos del fondo del océano obtenidos durante el viaje. Comunicó que podían extraerse pequeñas esferillas magnéticas de los depósitos marinos y de los nódulos de polvo de manganeso recogidos a gran profundidad. Como la superficie externa de estas partículas se asemejaba mucho a la de los meteoritos de hierro, y como se demostró analíticamente que contenían hierro metálico, Murray no vaciló en llamarlas «esferillas cósmicas» [3, 4]. Creía que procedían de meteoritos férricos cuya superficie se había fundido debido a la fricción con el aire. Las gotas de hierro, rápidamente solidificadas, cayeron al mar y se depositaron en el fondo: a causa de su lenta velocidad de acumulación los depósitos marinos ofrecen una ocasión única para obtener esferillas cósmicas en cantidad apreciable De un litro de depósitos de arcilla roja Murray pudo obtener de 20 a 30 esferillas, la mayoría de ellas de diámetro del orden de 0,03–0,25 mm, pero algunas incluso más pequeñas.

Así, pues, el trabajo de Nordenskiöld y Murray hace unos 80 años, demostró la acreción de materia cósmica a la Tierra y dirigió la atención a dos fuentes importantes de partículas: las nieves árticas y los depósitos marinos profundos. Ninguna de las dos es fácilmente accesible, lo cual retrasó toda investigación posterior. Al planear la expedición marítima sueca en el *Albatross* [5] en 1946 dí gran importancia al estudio de las partículas magnéticas en depósitos marinos profundos [6]. Gracias a la construcción ingeniosa del «extractor de muestras de pistón» [7] de B. Kullenberg, contábamos a bordo con un medio de sacar de grandes profundidades muestras casi no perturbadas de hasta 15 metros de longitud y a veces mayores. La Fig. 3 expone secciones de una muestra larga tomada de sedimentos en el Mediterráneo oriental: las flechas indican capas de ceniza volcánica.

La velocidad muy lenta de deposición en algunos fondos marinos profundos hace posible estimar la acreción de edades anteriores. En algunas regiones los depósitos del fondo crecen a una velocidad de sólo 1–2 mm cada mil años: las muestras largas obtenibles ahora representan depósitos de unos 6–15 millones de años. Si se mide la concentración de esferillas cósmicas en capas sucesivas tenemos un medio directo de medir la acreción a partir del final de la época terciaria.

Sin embargo, para lograr esto fue necesario desarrollar un método menos crudo de extraer las esferillas que el utilizado por Murray, quien

simplemente se contentó con agitar la suspensión acuosa del sedimento con un pequeño imán. Para lograr una separación más efectiva me decidí finalmente a adquirir un separador electromagnético potente, cuyas partes esenciales son una serie de cedazos circulares de hierro dulce, dispuestos alrededor de un electroimán activado por una corriente de 10 A. Se agita en un exceso de agua cantidades pesadas de sedimento, que se pasan tres veces a través del cedazo magnetizado. Entonces se corta la corriente y se separan y reúnen las partículas. Estas se clasifican según su tamaño (> 250 μ, 250–60 μ, 60–30 μ y < 30 μ) por medio de cedazos con red de latón. Se examinaron las partículas así aisladas y se contaron las identificadas inequívocamente como de origen cósmico [8]. El contenido de níquel de las esferillas puede tomarse como un criterio seguro. Se han demostrado recientemente que las razones Ni : Fe, Ni : Co y Ni : Cu de las esferillas marinas están de acuerdo con los correspondientes valores para los meteoritos de hierro [12]. Experimentos de prueba llevados a cabo con esferillas de tamaño semejante — fabricadas al calentar alambre de hierro en la llama de un soplete — mezcladas con sedimento marino, del que se había extraído todo el material magnético, muestran que la eficiencia del método de extracción es del 95%.

Mediante este método, estudiado en detalle por mi colaborador K. Fredriksson, del Servicio Geológico de Estocolmo, encontramos cantidades sorprendentemente grandes de esferillas cósmicas en una arcilla roja homogénea extraída a gran profundidad en la región ecuatorial del Pacífico [9]. Las cantidades variaban de un centenar a varios miles por kilogramo de sedimento, esto es de 10 a 100 veces más que las obtenidas por Murray en las muestras de arcilla roja recogidas en la expedición del *Challenger*.

Aparte de tales criterios como el contenido de níquel, el origen cósmico parece evidente respecto a las esferillas encontradas en depósitos marinos alejados de los continentes. Sin embargo, no puede decirse lo mismo de esferillas magnéticas que se han recogido directamente de la atmósfera en años recientes en cantidades enormes, especialmente por investigadores de los Estados Unidos. Parece probable que aquí hay una contaminación con esferillas artificiales, especialmente las pequeñas esferillas de hierro liberadas en cantidades enormes durante la soldadura y otros procesos industriales; el viento puede acarrear dichas partículas a grandes distancias. Si se utilizan muestras atmosféricas, éstas deben recogerse en regiones lo más apartadas posible de la actividad industrial, de preferencia en islas remotas. Por indicación nuestra se ha empezado recientemente tal colección de muestras en ciertas islas del Pacífico (véase más abajo), pero pasarán varios años antes de que se consigan resultados detallados. Recientemente investigadores británicos han emprendido una recolección más cuidadosa de polvo cósmico atmosférico [11].

Utilizando un microanalizador de rayos X, construído por R. Castaign en París, Fredriksson ha sometido partes de estas esferillas (Fig. 5), obtenidas durante el viaje del *Albatross*, a análisis detallado [13]. Se demostró que mientras el núcleo metálico de una esferilla (Fig. 3) consistía de 68,6% Fe, 29,8–31,6% Ni y 1,5% Co, el de otra contenía 44,4% Fe, 53,5% Ni y 1,8% Co.

De nuestros estudios de sedimentos marinos profundos se deducen las siguientes conclusiones generales:

1. Todos los casos investigados muestran la presencia de esferillas cósmicas en cantidades muy variables, pero mayores que las encontradas por Murray. En general varían de un centenar a dos mil por kilogramo.
2. La variación numérica depende de la locación geográfica y de la profundidad debajo de la superficie del sedimento, es decir de la edad de la capa. En general el número de esferillas es mayor en sedimentos más recientes. Sin embargo, se han encontrado cantidades apreciables de esferillas en capas de la Era Terciaria: esto contradice la afirmación hecha por algunas autoridades [14] de que no cayeron meteoros en la Tierra durante aquella época. Las Figs. 1 y 2 muestran una comparación de la frecuencia de esferillas en depósitos del Pacífico central y occidental respectivamente.
3. La considerable variación de la concentración de esferillas en capas diferentes puede explicarse por la distribución muy irregular de caída de meteoros sobre la superficie de la Tierra.

Considerando la concentración media de las esferillas en los sedimentos más recientes es posible calcular la velocidad actual de acreción. Nuestros cálculos indican una caída de 1000–5000 toneladas anuales.

El análisis de muestras marinas profundas largas nos permite, en potencia, determinar la frecuencia de caída de meteoros en la Tierra durante los últimos millones de años. Aunque el

material actual es muy limitado, la intensificación presente de investigación oceanográfica, especialmente en los Estados Unidos, da esperanzas de que pronto se resolverá esta dificultad. Vice-versa: si se establecen los datos necesarios, puede utilizarse la frecuencia de esferillas para determinar la edad de las diferentes capas. Caídas muy intensas de meteoros — como la famosa tormenta de meteoros de 13 de noviembre de 1833 (Fig. 4) — han podido muy bien haber dejado marcas características en los sedimentos.

El valor potencial de un método tal de datación está indicado por el hecho de que algunos científicos que realizan investigaciones tanto en el Artico como en el Antártico, se han informado sobre la posibilidad de utilizar la frecuencia de deposición de esferillas como método para determinar la edad del hielo obtenido en perforaciones y estimar así la velocidad de crecimiento del hielo en épocas anteriores.

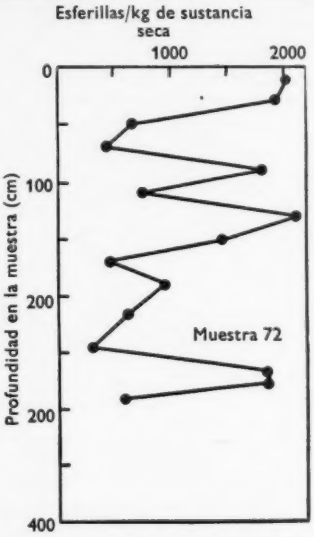


FIGURA 1 – *Distribución de esferillas según la profundidad en una muestra del Pacífico Central.*

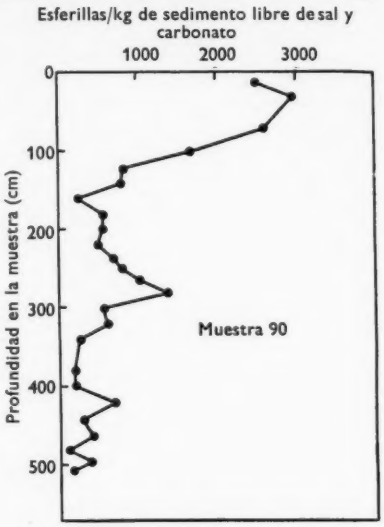


FIGURA 2 – *Distribución de esferillas según la profundidad en una muestra del Pacífico Occidental.*

Si es posible llevar a cabo el proyecto «Mohole» [19] que consiste en una perforación profunda a través de los sedimentos oceánicos hasta que se encuentre roca, ese mismo método nos permitiría estimar la frecuencia de caída de meteoritos desde la época en que se formaron los océanos.

LA VELOCIDAD DE ACRECIÓN DE POLVO CÓSMICO

La mayor parte de los meteoros que caen sobre la Tierra se dividen en polvo fino en la atmósfera, polvo que luego se deposita lentamente. Aparte de cálculos aproximados de Nordenskiöld y otros, no se ha intentado medir el peso total de este polvo. Existen dos métodos diferentes para obtener esta información: la investigación de depósitos marinos profundos y el estudio del polvo atmosférico.

En 1950 H. Rotschi y yo [17] propusimos la hipótesis de que el contenido relativamente alto de níquel en las muestras de sedimentos del Pacífico puede ser debido a polvo meteórico. Las determinaciones de níquel en muestras oceánicas profundas obtenidas durante el viaje del *Albatross* han sido efectuadas por G. R. Berrit y H. Rotschi [15] utilizando métodos químicos, y por S. Landergren [16] por métodos espectrográficos. Las rocas ígneas continentales tienen un contenido medio de níquel de sólo 0,008%; el agua oceánica tiene sólo 10^{-8}%, unas quinientas veces menos que de hierro. El análisis de los sedimentos muestra un contenido de níquel muy variable pero relativamente alto: del orden de 0,044 a casi 0,1%.

La velocidad de acreción de polvo meteórico a la Tierra puede deducirse mediante el paso de grandes cantidades de aire a través de filtros de poros muy finos y a grandes altitudes. Durante mi estancia en Hawaii como profesor de geofísca, tuve en 1957 la oportunidad de iniciar tal investigación, que también resultó de interés para la Comisión de Energía Atómica de los Estados Unidos, desde el punto de vista del Sr^{89} y Sr^{90} atmosféricos. Las observaciones fueron llevadas a cabo en dos observatorios a gran altura: uno a 3400 m, en la isla de Maui, y otro a 3700 m en la cumbre del volcán extinguido Mauna Loa (Hawaii). Los aparatos consistían esencialmente de ventiladores eléctricos que forzaban volúmenes medidos de aire a través de filtros finos. Los resultados del trabajo del primer año son brevemente los siguientes:

La mayoría de los filtros capturaron cantidades notables de níquel, como término medio 14,3 μg por 1000 m^3 de aire. Si se supone que el contenido medio de níquel en el polvo meteórico es de 2,5% [18] se sigue que el contenido de polvo cósmico

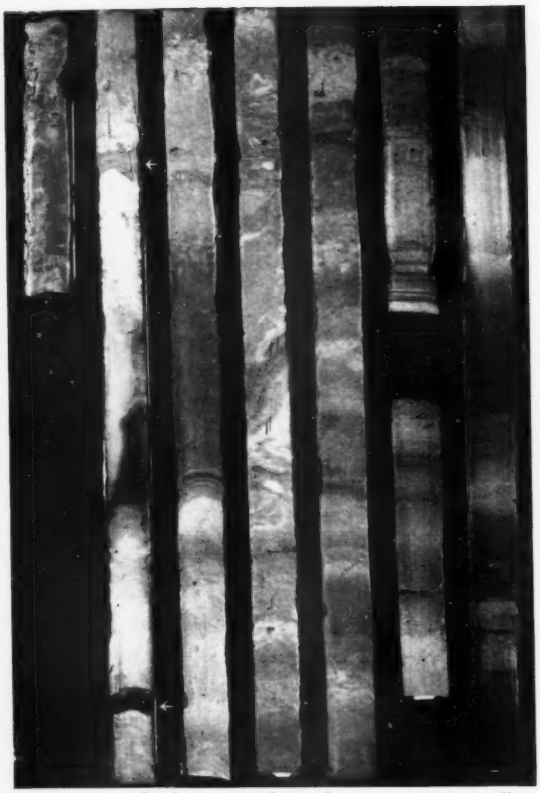


FIGURA 3 – *Secciones superiores de una muestra mediterránea partida en longitudes máximas de 71 cm. El extremo superior de la muestra está a la izquierda de la figura. Las capas de ceniza volcánica están marcadas con flechas.*

FIGURA 4 – *Tormenta meteórica del 13 de noviembre de 1833.*

FIGURA 5 – *Esferilla con núcleo metálico, mostrando una cúpula característica* (Challenger. Rep. 1891). (×250)

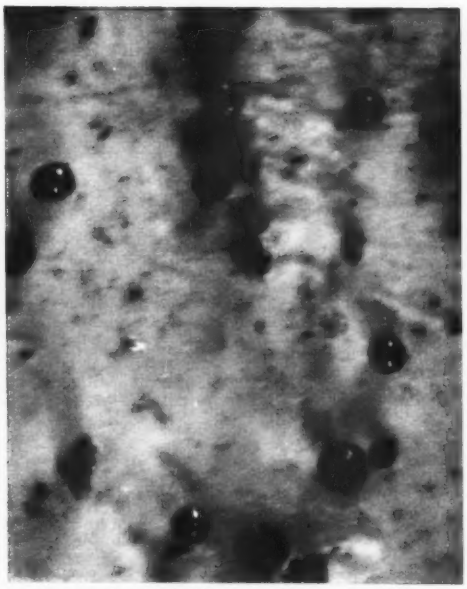


FIGURA 6 – *Esferillas cósmicas en depósitos del Pacifico occidental* (×400)

en 1000 m^3 de aire es 0,6 mg. Hay que hacer algunas suposiciones si queremos deducir el peso total del polvo cósmico que cae anualmente sobre la Tierra: estas suposiciones se refieren a la velocidad con que cae el polvo desde una altura de 90 km, donde se pulverizan la mayoría de los meteoros, hasta una altura de 3 km, donde se recogieron las muestras. Suposiciones razonables llevaron a la conclusión de que la velocidad anual de acreción de polvo cósmico es de 5 millones de toneladas. Esto es bastante más que el cálculo de Nordenskiöld ($\frac{1}{2}$–1 millones de toneladas), pero sí del mismo orden de magnitud. F. F. Watson calculó el peso total de los meteoros que entran anualmente en nuestra atmósfera en $3{,}65 \times 10^6$ t [18]. Todos estos cálculos indican que la acreción de polvo cósmico a la Tierra es unas mil veces mayor que la acreción de esferillas cósmicas.

Si aceptamos la cifra de 5 millones de toneladas como un valor razonable de la acreción total anual de polvo cósmico, se sigue que por término medio cada cm^2 de la superficie de la Tierra recibe 0,001 mg al año. En mil años el total por centímetro cuadrado sería 1 mg de los que 0,025 serían de níquel. Estas cifras están en buen acuerdo general con los datos que poseemos sobre el contenido de níquel en depósitos marinos profundos. El peso de la arcilla roja depositada por cm^2 cada mil años es de unos 150 mg y por tanto cabría esperar un porcentaje de níquel cósmico de aproximadamente 0,016%. Esto corresponde, en realidad, a una tercera parte del contenido de níquel de ciertos depósitos del Pacífico determinados por Rotschi. En algunas capas, el contenido de níquel es el doble del valor medio: esto puede corresponder a caídas de meteoros excepcionalmente intensas.

Se ha llevado a cabo en el Instituto Oceanográfico de Göteborg [20] una investigación preliminar de las esferillas cósmicas presentes en las secciones superiores de una muestra tomada en el Pacífico Central. Los resultados han sido estudiados por E. J. Öpik [21], quien propone la opinión de que las esferillas se derivan de la nube zodiacal, cuyas partículas se funden en gotitas de níquel-hierro a consecuencia del calor friccional en la atmósfera. Öpik apoya nuestra opinión de que el exceso de níquel en depósitos marinos profundos es de origen cósmico y, a pesar de la crítica adversa de algunos sectores [22], considera esta opinión como una hipótesis de trabajo fructífera.

E. G. Bowen [23] en Sidney, ha sugerido que grandes lluvias de extensión mundial están relacionadas con deposiciones de polvo desde los estratos altos de la atmósfera, como consecuencia de chaparrones intensos de meteoros unos treinta días antes. Las partículas de polvo suministran núcleos para la condensación de vapor de agua. Si el polvo meteórico tiene en efecto tal influencia en la lluvia, está claro que grandes caídas de meteoros pueden tener efectos climatológicos muy acusados. Se ha dicho que el polvo meteórico influye también sobre las nubes noctiluminosas cerca del nivel de 100 km [24].

Nos complace reconocer la asistencia recibida de la Universidad de Hawaii y de la Comisión de Energía Atómica de los Estados Unidos. Los análisis de muestras de aire tomadas en Hawaii fueron llevados a cabo por el Profesor F. Hecht, Dr. E. Tomic y Dr. H. Korkisch del Instituto Químico, Universidad de Viena.

REFERENCIAS

[1] NORDENSKIÖLD, A. E. *Övers. Kgl. vet. Akad. Förh.* No. 1, Estocolmo. 1874.
[2] *Idem.* «Studier & Forskningar i Höga Norden», pág. 185, Estocolmo. 1883.
[3] MURRAY, J. *Proc. roy. Soc. Edinb.*, **9**, No. 96, 247, 1876–77.
[4] MURRAY, J. y RENARD, A. F. *Challenger Rep.*, **4**, 327, 1891.
[5] PETTERSSON, H. *Endeavour*, **8**, 182, 1949.
[6] *Idem. Rep. Swed. Deep-Sea Exped.*, **1–4**, 1952–57.
[7] KULLENBERG, B. *Ibid.*, **1**, 35, 1955.
[8] PETTERSSON, H. «Festskrift T. E. Jansson Broström», Göteborg, mayo 1955.
[9] PETTERSSON, H. y FREDRIKSSON, K. *Pacif. Sci.*, **12**, 71, 1958.
[10] FREDRIKSSON, K. *Univ. Goth. astron. Notes*, 21, 1958.
[11] PARKIN, D. W. y HUNTER, W. *Nature, Lond.*, **183**, 732, 1959.
[12] SMALES, A. A., MAPPER, D. y WOOD, A. J. *Geochim. Cosmochim. Acta*, **13**, 123, 1958.
[13] CASTAIGN, R. y FREDRIKSSON, K. *Ibid.*, **14**, 114, 1958.
[14] PANETH, F. A. «Vistas in Astronomy», Vol. II, pág. 1686, 1956.
[15] BERRIT, G. R. y ROTSCHI, H. *Rep. Swed. Deep-Sea Exped.*, **6**, 53, 1956.
[16] LANDERGREN, S. *Ibid.*, **7**, 125, 1954.
[17] PETTERSSON, H. y ROTSCHI, H. *Nature, Lond.*, **166**, 308, 1950.
[18] WATSON, F. G. «Between the Planets» (2ª edición), pág. 151. Harvard University Press. 1956.
[19] BASCOM, W. *Nat. Res. Council. Publ.*, 717, 1959.
[20] LAEVASTU, T. y MELLIS, O. *Trans. Amer. geophys. Un.*, **36**, 385, 1955.
[21] ÖPIK, E. J. *Irish astr. J.*, **14**, 116, 1956.
[22] SMALES, A. A. y WISEMAN, J. D. H. *Nature, Lond.*, **175**, 464, 1955.
[23] BOWEN, E. G. *Ibid.*, **177**, 1121, 1956.
[24] MILLMAN, P. M. *J. geophys. Res.*, **64**, 2122, 1959.

La selección de nuevas variedades de frutales

W. WILLIAMS y A. G. BROWN

Desde tiempos remotos, la selección de plantas productivas ha sido característica importante de la agricultura. Los viejos procedimientos puramente empíricos lograron muchos y notables éxitos en este sentido, pero sólo gracias a los métodos científicos actuales es posible acelerar la productividad. Este artículo expone algunos factores importantes en los modernos programas de selección, con especial referencia a los árboles frutales.

Desde que existen pueblos agricultores, el hombre se ha esforzado por mejorar las plantas cultivadas seleccionando las buenas de cada cosecha. Modernamente no se concibe la civilización sin el deliberado aprovechamiento de la variabilidad de las plantas cultivadas. La máxima atención se presta, claro está, a aquéllas que contribuyen en mayor grado a la alimentación humana. Apenas figuran en esa categoría las que producen frutos carnosos, que, con raras excepciones (como el plátano sobre todo), sólo proporcionan escasa materia nutritiva energética por unidad de peso fresco. Los frutales de zonas templadas (manzano, peral, cerezo, ciruelo y melocotonero) pasan por cultivos secundarios, cuyo valor estriba más bien en la posibilidad de diversificar la comida y bebida de grupos étnicos cuya dieta fundamental está de antemano asegurada. De aquí la gran importancia estética del aspecto y sabor en la selección de frutales (Fig. 2). Pero aunque estos frutos se consumen principalmente por puro placer, en realidad la gran mayoría de la producción se orienta hacia el lucro. Por razones comerciales, las nuevas variedades deben ser, no sólo atractivas como alimentos supletorios, sino también interesantes desde el punto de vista económico.

La mejora de plantas cultivadas consiste esencialmente en seleccionar individuos que posean las combinaciones de genes deseadas, y en su ulterior multiplicación con vistas a ser cosechados en gran escala. En los árboles frutales no existe el problema de lograr la uniformidad y estabilidad genética necesarias en otras plantas (que se reproducen sexualmente), debido a que aquéllos se propagan por vía vegetativa. A partir de individuos híbridos o extraordinariamente heterocigóticos es posible obtener cualquier cantidad de genotipos prácticamente iguales. Puede, por tanto, sacarse el mayor provecho selectivo de híbridos en alto grado resultantes del entrecruzamiento natural de las especies. A causa de su hibridismo, las variedades de frutales (con la posible excepción del melocotonero) no son de casta legítima, y las descendencias obtenidas al practicar la polinización directa o cruzada, arrojan una desconcertante colección de individuos desemejantes. Todos los intentos de lograr líneas homocigóticas determinadas, tropiezan con el obstáculo del largo ciclo vegetativo de la planta, el cual varía desde 5 años en el cerezo, hasta 15 en el manzano y el peral. Sin embargo, por fortuna es posible predecir aproximadamente el resultado generativo al cruzar estirpes paternas muy heterocigóticas respecto de ciertos caracteres mensurables que posean escaso grado de dominancia; entonces, los valores medios de la progenie oscilan en torno a la media de los dos progenitores. En la práctica, al considerar un gran número de cruzamientos, no se presentan desviaciones notables. La elección de progenitores con vistas a lograr una combinación determinada, no tiene más limitación que los esfuerzos a realizar durante la hibridación y selección correspondientes.

TAMAÑO ÓPTIMO DE LA FAMILIA CON VISTAS A SELECCIÓN

Debido al amplio margen de variabilidad que resulta al cruzar progenitores heterocigóticos (aunque éstos sean seleccionados con cuidado), son pocos los individuos que exteriorizan un carácter dado en la medida deseada. La frecuencia de tipos deseados disminuye mucho si, como es lo corriente, la selección busca una combinación de caracteres. Casi todos los investigadores concuerdan en que es necesaria una gran familia de plantas para lograr éxito selectivo en tales circunstancias. La estimación del tamaño conveniente de la familia se hizo en tiempos

pasados muy el azar. Con los años, el número familiar preceptuado ha ido aumentando hasta que, recientemente, ha sido fijado en unas 1000–2000 plantas por familia. Más recientemente, cálculos basados en resultados experimentales en gran escala sugieren que dicho número es todavía muy bajo.

El número de descendientes idóneos, previsibles como producto principal de un programa de mejora de manzanos en caso de caracteres poligénicos, es rara vez más del 40% del total [1]; para cada nuevo carácter definible, la cifra decrece rápidamente. De hecho, el número de individuos segregados en cada clase, depende sin duda de cada cruce concreto y de los regímenes selectivos aplicados, pero un cálculo razonable basado en 5 caracteres — tales como resistencia al mildiú, tamaño del fruto, época de maduración, sabor, y color del pellejo — daría 40, 20, 20, 10 y 10% respectivamente. Admitiendo libre recombinación de dichos caracteres en la descendencia, familias de 6250 plantas darían en promedio un solo individuo que combinara los 5 caracteres en forma aceptable; sólo un individuo idóneo al menos surgiría en aproximadamente dos de cada tres familias como la citada. Ello quiere decir que el objetivo de la selección fallaría en una de cada tres familias. Esto entra todavía dentro de un grado tolerable de fallo. Para aumentar la frecuencia del éxito desde 2 en cada 3, hasta, por ejemplo, 19 en cada 20 familias, sería preciso agrandar el tamaño n de estas hasta los 18 750 individuos, de acuerdo con la fórmula $\{(N-1)/N\}^n = 1/20$, en la cual $(N-1)/N$ es la fracción inservible de la familia.

Más aún cabe decir sobre la importancia que tiene el tamaño de la familia en árboles frutales. Otros caracteres, aparte de los concretos señalados, influyen en el éxito de productos que poseen atractivo estético. Consideraciones puramente subjetivas deciden con frecuencia el éxito o fracaso de una selección. Por tanto, para asegurar el éxito final, es preciso disponer de un lote de individuos que expresen adecuadamente los caracteres concretos deseados, a fin de poder elegir dentro de dicho lote. Admitiendo que un lote de 5 tipos sea conveniente para elegir, y que la probabilidad de fallo sea de una familia de cada tres, la familia adecuada debería componerse de 31 250 individuos [2]. Esta cifra debe tomarse como aproximación según es lo prudente en estimaciones basadas en fenómenos biológicos; pero, en todo caso, la amplia experimentación en que se basa dice que cantidades de este orden son las que deben cribarse en cualquier programa selectivo verdaderamente concienzudo.

Observar una a una 30 000 plántulas de cosecha, es una tarea descomunal. Con plantas leñosas, como son los frutales, es prácticamente imposible el análisis individual si las plantas deben crecer hasta alcanzar desarrollo pleno. Es preciso idear métodos especiales para reducir las familias a cantidades manejables de individuos ya durante las fases tempranas de desarrollo.

RESISTENCIA A ENFERMEDADES

La prueba de la resistencia a las enfermedades (Fig. 5) es un aspecto de la recría de plantas que generalmente acarrea por sí solo el cribaje durante el estado de plántula. Una de las peores enfermedades que padecen en nuestras latitudes los frutales, es la roña del manzano, producida por el hongo *Venturia inaequalis*. Se ha visto que algunas especies de *Malus* son resistentes, entre ellas *M. prunifolia*, *M. zumi calocarpa*, *M. atrosanguinea*, *M. floribunda*, y también *M. pumila*, a la cual pertenecen los manzanos cultivados [3]. En *M. floribunda* la resistencia va condicionada por un solo gene dominante. Por tanto, dicha resistencia es expresada también en los heterocigóticos generación tras generación, y no es necesario reaislar el genotipo homocigótico, según ocurre con caracteres condicionados por genes recesivos. Es por tanto posible, mediante retrocruzamiento, transmitir rápidamente la resistencia de *M. floribunda* al sistema genético del manzano cultivado. A partir del tercer retrocruzamiento se consiguen ya plantas que combinan la inmunidad frente a *Venturia* con algunas cualidades exigibles en una manzana de mesa (Fig. 3).

El control de la enfermedad se reduce a una lucha entre la variabilidad del hospedador y la variabilidad del parásito. A veces ocurre que, tan pronto una planta resistente se pone en producción, una nueva raza de parásito hasta entonces muy rara (o desapercibida) entra en escena con caracteres de epidemia, y la variedad seleccionada se revela tan susceptible como el tipo originario. Casos verdaderamente espectaculares de esta índole se conocen en relación con la resistencia ante *Phytophthora infestans* o podredumbre seca de la patata [4] y *Puccinia graminis* o roya del trigo [5]. Aparte otros factores que intervienen en la lucha hospedador-parásito, uno que destaca en la recría de plantas es la capacidad mostrada por ciertas razas parasitarias para soslayar los obstáculos a la infección y esporulación que les ofrecen genotipos en otro caso resistentes. Cuando un gene muta,

esencialmente lo que ocurre es un cambio sencillo y concreto en la química del metabolismo celular. Esto, que se ha demostrado en múltiples organismos, puede referirse (dentro de nuestro tema) igualmente al hospedador que al parásito. Así, mecanismos de resistencia del hospedador debidos a mutación de un gene, pueden ser neutralizados por el parásito gracias a otra mutación metabólica paralela. Se comprende, pues, que la resistencia del manzano cultivado ante *Venturia inaequalis* basada en el gene dominante aportado por *M. floribunda*, puede no ser indefinida, incluso si la nueva variedad no ha mostrado ninguna susceptibilidad después de ser sometida a muy variables condiciones.

Genotipos con varios genes causadores de resistencia (genes que actúen con independencia o conforme a un sistema suplementario y aditivo) ofrecen barreras mucho más complejas al parásito. Afortunadamente se conocen ciertas variedades cultivadas de manzano, que poseen semejante mecanismo poligénico de resistencia frente a la roña. Destacan al respecto las variedades «Antonovka», originarias de Rusia, muy útiles como progenitores para cruce. Se ha demostrado que ciertas variedades inglesas muy susceptibles pero de alta calidad, tales como la «Cox's Orange Pippin» y la «Worcester Pearmain», arrojan en los cruces un reducido porcentaje de genotipos resistentes (aproximadamente el 1%), por lo cual es necesario desechar enormes cantidades de plántulas a fin de lograr una cantidad satisfactoria para selección preliminar. De este modo se consigue protección múltiple frente a posibles nuevas razas de roña y se salva la necesidad de repetir retrocruzamientos, según ocurre cuando — otras veces — se usan especies de frutitos muy astringentes (por ejemplo *M. floribunda*) como fuentes de resistencia.

AUTOFECUNDACIÓN

La recría de frutales resistentes a enfermedades aquí descrita, consiste simplemente en incorporar ciertos genes mutados a genotipos que sean fenotípicamente aceptables respecto a otras cualidades apetecidas. Sin embargo, ocurre a veces que no existe el tipo deseado en ninguna de las formas de la especie, ni silvestres, ni cultivadas. Es lo que ocurrió hasta hace muy poco con el cerezo *Prunus avium* en lo relativo a autofecundación. Todas las variedades conocidas de cerezo son hermafroditas insuficientes, y esta insuficiencia está controlada por una serie de alelos situados en una región determinada del cromosoma que se ha simbolizado como locus «S». El mecanismo en cuestión consiste esencialmente en que los tubos polínicos no prosperan sobre los estilos, por tener unos y otros el mismo alelo S. Una incompatibilidad análoga, de tipo S, se conoce en otras muchas plantas de diferentes familias. Hace ya mucho tiempo que se conoce la mutación espontánea que otorga autofecundidad (S_f) en *Nicotiana* y en *Trifolium pratense*. Desde que Muller en 1927 descubrió que la frecuencia de mutación puede elevarse tratando con rayos X, se ha podido comprobar que la mutación de tipo $S_{1 \ldots n}$ a S_f, puede ser inducida con agentes mutagénicos. D. Lewis [6], en sus ensayos preliminares con la especie *Oenothera organensis*, demostró que la frecuencia de mutación a S_f aumentaba sensiblemente después de irradiar las anteras con rayos X. A causa de la infalible acción de criba que verifica el estilo con los granos de polen no mutados, la mutación puede ser patentizada incluso cuando la frecuencia de mutación (después de tratar con una dosis de 500 r de rayos X) era sólo de uno por cada 300 000 granos. Aplicando igual método a variedades no autofecundables del cerezo, pudieron patentizarse 3 mutaciones independientes de autofecundación como recurso para mejorar la regularidad de las cosechas de dicho árbol (Fig. 1), habiéndose desarrollado avanzadas estirpes selectivas que son al mismo tiempo autofecundables y productoras de fruto de gran calidad.

ASOCIACIÓN DE CARACTERES GENÉTICOS

Recientemente se ha dado a conocer otro aspecto más de la influencia del locus «S» en la mejora del cerezo [7]. Como ya se ha dicho, la mutación del gene produce un cambio concreto relativamente sencillo en la química del metabolismo celular. Sin embargo, esto es probablemente cierto sólo para los cambios químicos iniciales que ocurren muy cerca del sitio que ocupa el gene en el cromosoma. Pero a lo largo de la cadena de reacciones que sigue, las consecuencias de aquel sencillo cambio se van complicando y, así, el efecto de una simple mutación puede llegar a repercutir en muchos y variados caracteres de distintas partes del organismo. En las plantas superiores estos efectos de genes son muy difíciles de distinguir de la acción de genes independientes situados en varios *loci* muy encadenados en un corto trecho del cromosoma, aunque la distinción entre unos y otros efectos no tiene importancia para el caso. Lo que sí interesa es la asociación de caracteres que puede producir uno u otro de dichos mecanismos genéticos. En el cerezo se ha descubierto una

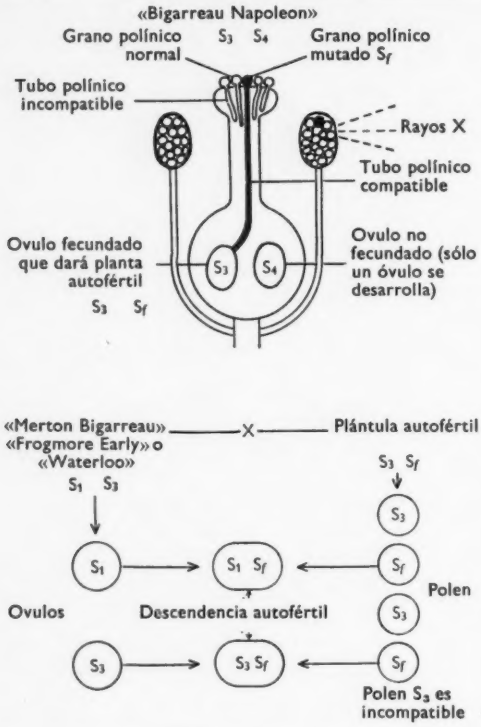


FIGURA 1 — *Dos estadios en la cría de cerezos autofecundantes.*

asociación chocante de ciertos alelos del locus S con los caracteres fenotípicos generales que se buscan en variedades mejoradas. El análisis de las más importantes variedades de cerezo cultivadas en Europa muestra que el 65% posee el alelo S_3, 50% el S_1, 39% el S_2, mientras que los restantes alelos de esta larga serie son muy poco frecuentes. Esto quiere decir que a lo largo del proceso selectivo ocurrido a partir de las especies agriotípicas, dichos tres alelos han tomado gran ventaja. Además, se ha visto también que ciertas combinaciones, sobre todo S_1S_3 y S_1S_2, alcanzan frecuencias que sólo se explican bien, suponiendo exista ventaja selectiva a favor de ciertos genotipos, independientemente de los alelos S que éstos contengan.

La recría experimental de cerezos confirma dichas conclusiones. Al practicar la selección entre familias con igual probabilidad de selección o pérdida de individuos con S_3, el individuo seleccionado de cada una de siete progenies diferentes ha poseído S_3 entre los alelos del locus en cuestión. La probabilidad de obtener el mismo resultado al azar, es de 8 veces en mil familias. Lo dicho viene a reforzar la hipótesis de que el propio alelo S_3, o quizá el segmento cromosómico donde yace, poseen cierto efecto críptico sobre los caracteres que se han seleccionado durante la evolución del cerezo cultivado.

Otro buen ejemplo de carácter genético aparentemente neutral con efecto decisivo en la selección lo proporciona la frecuencia de alelos en el locus albino del cerezo. Dicho locus se caracteriza por dos alelos, uno recesivo que impide la producción de clorofila, y, por tanto, resulta letal cuando es homocigótico, y otro dominante que controla la producción de clorofila. El alelo recesivo existe en el 51,5% de todas las variedades investigadas y ocupa el 26% de las posiciones disponibles en el mismo locus. Suponiendo haya cruzamiento al azar y que el heterocigótico no sea favorecido selectivamente, una mutación recesiva letal llega a equilibrarse en la población cuando su propia frecuencia iguale la raíz cuadrada de la rapidez de mutación. Según esto, el alelo recesivo del locus albino del cerezo se halla bastante por encima de su punto de equilibrio. La única explicación que cabe dar a esta situación anormal es que los heterocigóticos se han seleccionado preferentemente durante la evolución sufrida por las formas cultivadas de la especie.

La conclusión genética sobre los dos ejemplos arriba expuestos es que demuestran la falta de neutralidad de ciertas unidades del sistema genético bajo condiciones selectivas, y vienen a resaltar la función que cabe al genotipo total como unidad básica de selección. Aparte lo dicho, el fenómeno tiene inmediatas aplicaciones prácticas en la recría de cerezos. Cabe esperar mayor éxito en la mejora de estos frutales si la progenie de que es parte representa genotipos S_3 y es heterocigótica para el albinismo. Ejemplos análogos de respuesta selectiva en series alélicas similares se conocen en otros frutales, particularmente en el melocotonero *Prunus persica* [8].

EXPLOTACIÓN DE NUEVAS MUTACIONES

La mayoría de las mutaciones génicas de escasa frecuencia en poblaciones naturales, y también las inducidas con mutagénicos, contribuyen poco (como fase homocigótica recesiva) a la adaptación de un individuo en un momento dado. La rareza del alelo mutado es ya un índice de su falta de utilidad para la especie, la cual ha sobrevivido por muchas generaciones. Las mutaciones muy nocivas en el estado silvestre suelen ser — por igual razón — inservibles para la mejora fitotécnica. Entre ellas figuran las que afectan a procesos

FIGURA 2 – *Izquierda: «Merton Worcester», nueva variedad que combina excelente carne con bella piel roja. Derecha: «Merton Beauty», nueva variedad de carne aromática.*

fisiológicos fundamentales, como la de la deficiencia en clorofila, los distintos tipos letales y semiletales, y las que determinan grandes cambios morfológicos. Existen otras, no muy nocivas, que en las especiales condiciones del cultivo pueden contribuir al éxito. Un buen ejemplo lo constituyen las mutaciones que convirtieron en no quebradizo el raquis de los trigos candeales. Otros ejemplos son la esterilidad masculina del maíz, melocotonero y cebolla, y la partenocarpia y supresión de semillas en las formas cultivadas de *Musa* (plátanos) [9].

Las plantas perennes que, como los frutales, se propagan por vía de clones, son más favorables para explotar nuevas mutaciones. Es fácil revelar tramos mutados en plantas de mayor porte y no hay problema en multiplicar después vegetativamente las mutaciones que se estimen útiles. Así, estas plantas de largo ciclo, compensan — desde el punto de vista selectivo — la dificultad de obtener recombinaciones genéticas. En el manzano, por ejemplo, hay algunas variedades de gran importancia económica que se han basado en mutaciones; a veces, como ocurrió con el notable «sport» rojo de la manzana «Delicious», la forma mutante ha desbancado por completo a la variedad original. La mayoría de las nuevas variedades aisladas como mutaciones somáticas en árboles frutales, han sido o bien mutaciones en el color de la piel [10] (Fig. 4) (ejemplos las manzanas «Delicious Roja», «Bramley Carmesí», y «Cherry Cox», y la pera «Max Red Bartlett»), o bien mutaciones que afectan al tamaño del fruto. Estas últimas suelen consistir en una duplicación del número de cromosomas, según es el caso de las formas tetraploides de la pera «William» y «Fertility». Todas las mutaciones citadas surgieron espontáneamente, habiéndose limitado el hombre a irlas seleccionando con cuidado.

MUTAGÉNICOS

Recientemente se ha extendido el aprovechamiento de mutaciones somáticas, y, hoy, en todas partes se desarrollan programas de mejora a base de agentes mutagénicos. Entre los más eficaces figuran los neutrones térmicos y los rayos X. También se utilizan rayos gamma emitidos por cobalto 60, e inyecciones de sales radiactivas (Fig. 6). Los brotes invernantes son irradiados, combinando esto con técnicas que aseguran el desarrollo de los primordios más jóvenes del material tratado [11]. La frecuencia con que aparecen mutaciones depende del tamaño del primordio y del tiempo que dure la irradiación; es mayor con primordios más pequeños. Hasta ahora los resultados han sido muy limitados, pero figura

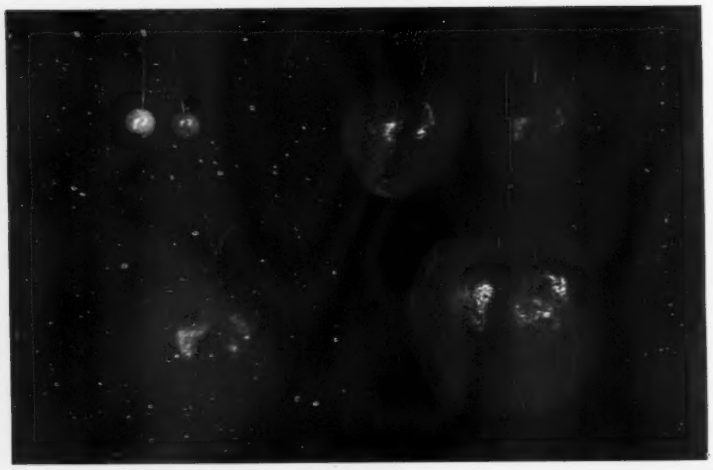
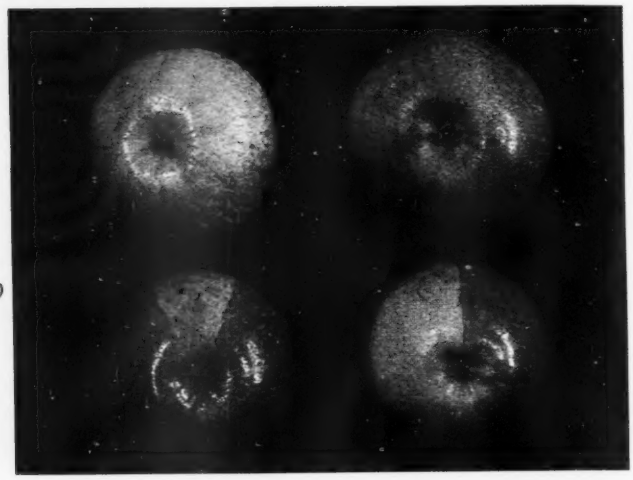


FIGURA 3 – *Estadios de la transmisión de resistencia a la roña desde el* Malus floribunda *al manzano cultivado. Arriba, izquierda:* Malus floribunda. *Arriba, derecha:* (Malus floribunda × «*Rome Beauty*») × (Malus floribunda × «*Rome Beauty*»). *Abajo, izquierda:* F_2 × «*Jonathan*». *Abajo, derecha:* (F_2 × «*Golden Delicious*») × «*Jonathan*».

(a)



(b)

(c)

(d)

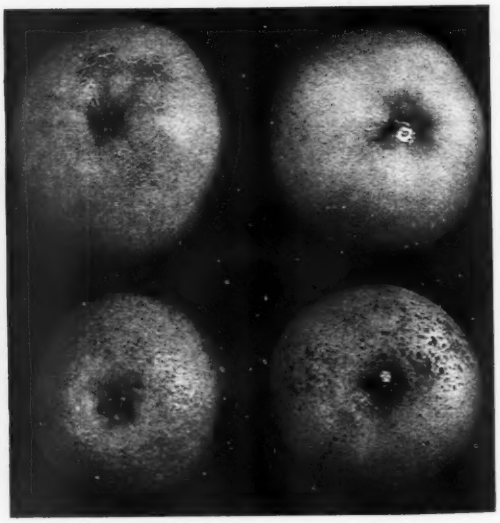


FIGURA 4 – «*Sports*» *gemales del manzano y peral.* (a) *Una mutación que afecta al color de la piel y cubre la casi totalidad del fruto.* (b) *Mutaciones sectoriales en el fruto.* (c) *Mutación del verde al pardo-rojizo (piel) después de tratar con rayos X.* (d) *Mutación del pardo-rojizo al verde (piel).*

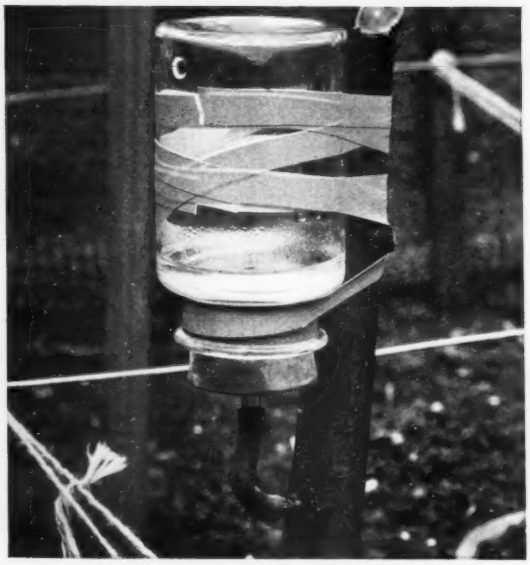


FIGURA 5 – *Arriba, izquierda: Plántulas de manzano mostrando segregación de las resistentes a la roña. Derecha: Tallos de manzano atacados por* Phytophthora cactorum; *la forma susceptible desarrolla lesiones pardas bajo la corteza.*

FIGURA 6 – *Inyección de fósforo radiactivo* (^{32}P) *en un joven manzano.*

FIGURA 7 – *Cerezal de semilla que muestra segregación de genotipos enanos homocigóticos. Estos tipos resultan prometedores como patrones aminorantes.*

entre ellos como más prometedor la obtención de un «sport» rojo uniforme en la variedad de manzana «Cortland», aislado después de irradiar con neutrones térmicos [12]. Sin embargo, aún es prematuro cantar la victoria de los métodos mutagénicos. Pero, de hecho, en ciertos cultivos la inducción artificial de mutaciones se ha establecido como técnica casi constante.

Suele admitirse que la aparición de sectores alterados, después de tratar con mutagénicos, es prueba de que el tratamiento provocó la mutación. La cosa es incontrovertible para plantas de ciclo corto y reproducción sexual, pero no está muy clara para plantas cuyos tejidos somáticos alcanzan cierta edad. Con el tiempo, diversas mutaciones pueden acumularse en diferentes estirpes celulares de plantas perennes. Cuando la mutación surge en una de las capas histológicas del primordio, crece la planta a modo de quimera, es decir, con capas celulares de constituciones genéticas diferentes. Se conocen bien ejemplos de quimeras en manzanos, perales, y *Crataegomespilus*; también en patatas y en flores de jardín [13]. No puede por tanto asegurarse que las mutaciones observadas después de irradiar plantas quiméricas sean debidas a la irradiación suministrada. La alta frecuencia de iguales fenotipos mutados en ciertas plantas propagadas vegetativamente que fueron irradiadas parece sin duda indicar que mutagénicos como los rayos X afectan diferencialmente la razón de supervivencia de los tejidos que constituyen las distintas capas de las quimeras. De ser esto cierto en general, podría haber otros métodos más eficaces para aislar y obtener capas mutantes (en particular técnicas de propagación que discriminen entre las distintas capas histológicas).

INFLUENCIA DEL PATRÓN

En caso de injertar, no sólo interesan los caracteres del injerto. La interacción entre injerto y patrón puede afectar mucho al vigor y desarrollo agronómico de todo el árbol. La recría y selección cuidadosa de patrones para manzanos practicada por la *East Malling Research Station* ha tenido inmensa repercusión en la mejora de dichos frutales a escala mundial. No ha resultado tan

espectacular la producción de nuevos tipos de patrones para otros frutales de la zona templada. La cosa es particularmente difícil con cerezos. Por ser el cerezo un árbol relativamente corpulento, sería muy útil disponer de patrones que aminorasen los injertos vigorosos. Las especies afines de *Prunus* de crecimiento reducido, ocasionan una incompatibilidad patrón-injerto tan descabalante, cuando son combinadas con *Prunus avium*, que su uso queda hoy descartado. No se han conocido hasta tiempos muy recientes variantes de *Prunus avium* capaces de inducir el achicamiento del injerto. Al fin se ha descubierto un mutante enano condicionado por un único gene recesivo que está presente en muchas variedades cultivadas [14], el cual quizá permita producir patrones enanos que sean compatibles con variedades del cerezo cultivado (Fig. 7). Cabe esperar en el futuro que la combinación de estos patrones aminorantes con nuevas variedades autofértiles, contribuya al mayor éxito del cultivo del cerezo en huertos y jardines, y quizá tambien a la producción de su fruto fuera de temporada en invernaderos.

REFERENCIAS

[1] BROWN, A. G. *Euphytica*, **8**, 81, 1959.
[2] WILLIAMS, W. *Trans. 2nd Int. Congr. Eucarpia.* (En prensa.)
[3] SHAY, J. R., DAYTON D. F., y HOUGH, L. F. *Proc. Amer. Soc. hort. Sci.*, **62**, 348, 1953.
[4] TOXOPEUS, H. J. *Euphytica*, **5**, 221, 1956.
[5] STAKMAN, E. C. *Phytopathology*, **44**, 346, 1954.
[6] LEWIS, D. *Heredity*, **5**, 399, 1951.
[7] WILLIAMS, W. y BROWN, A. G. *Ibid.*, **10**, 237, 1956.
[8] *Idem. Proc. roy. Soc., B*, **145**, 337, 1956.
[9] SIMMONDS, N. W. *J. Genet.*, **51**, 458, 1953.
[10] SHAMEL, A. D. y POMEROY, C. S. *J. Hered.*, **23**, 173, 213, 1932.
[11] BAUER, R. *Hereditas, Lund*, **43**, 323, 1957.
[12] BISHOP, C. J. *Proc. X Int. Congr. Gen.*, **2**, 26, 1958.
[13] CRANE, M. B. y LAWRENCE, W. J. C. «The Genetics of Garden Plants», (4ª edición). Macmillan & Co. Ltd., Londres. 1952.
[14] WILLIAMS, W. *Rep. Innes hort. Instn.*, **48**, **7**, 1957.

Los mecanismos hidráulicos en las arañas

D. A. PARRY

Es bastante común encontrar sistemas de locomoción animal que contienen componentes hidráulicos, aunque tales sistemas presentan algunas desventajas. Los vertebrados y los artrópodos han desarrollado un sistema diferente, basado en palancas esqueléticas; pero en algunos artrópodos se combina el uso de un esqueleto y de mecanismos hidráulicos. En este artículo se describen recientes investigaciones sobre los arácnidos y se estudia la importancia que tal tipo de mecanismo haya podido tener en la evolución de los artrópodos.

La fuerza necesaria para toda locomoción animal se deriva, con muy pocas excepciones, de los músculos: conjuntos de fibras que pueden contraerse para mover una carga y realizar así un trabajo mecánico. Todo sistema locomotor muscular exije dos requisitos importantes. Primero: la fuerza producida por los músculos debe transmitirse de manera que pueda actuar entre el cuerpo y el medio. Segundo: debe existir un procedimiento para reextender los músculos contraídos, que no pueden hacerlo por sí mismos. Se encuentra una solución en muchos animales que, desde un punto de vista mecánico, pueden considerarse como envolturas musculares que contienen un líquido que es importante componente del sistema locomotor. Así, la envoltura de la lombriz de tierra contiene dos tipos de músculo colocados formando ángulo recto entre sí; uno rodea el cuerpo mientras que el otro corre a lo largo de él (Fig. 1). La tensión que mantienen dichos músculos produce una presión en el líquido por ellos contenido y la turgencia del cuerpo del animal. El líquido está contenido por «mamparos» transversales — los *septa* —, de modo que cada región funciona como un compartimento estanco y a volumen constante. Así, cuando en una región cualquiera se contraen los músculos longitudinales y se extienden los circulares el compartimento se acorta y engruesa; como la acción contraria de los músculos produce el efecto también contrario se trata aquí de un sistema alternativo. Las cerdas de que está recubierto el cuerpo del animal se hincan en el suelo y se retiran luego en el momento oportuno del ciclo, obteniéndose así la traslación del animal: las fuerzas musculares interiores han sido pues transmitidas al medio ambiental. Encontramos diversas variantes de este sistema músculo-hidráulico en las anémonas, gusanos anulares y caracoles. La evidente desventaja de tales sistemas es la coordinación que debe existir entre diferentes actividades musculares: el funcionamiento de los músculos de una región corporal afecta la distribución o presión del líquido, lo que a su vez debe estimular la acción muscular de otra región del cuerpo. Como hemos indicado, los *septa* son una solución parcial de este problema en el caso de la lombriz, pero como la misma situación existe para cada compartimento, parece excluirse la posibilidad de la evolución de una actividad muscular compleja.

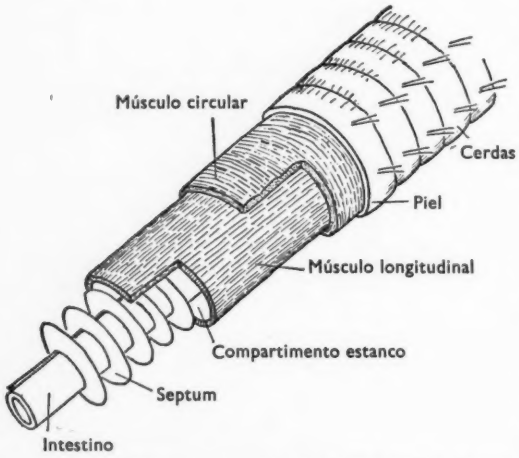


FIGURA 1 – *Diagrama esquemático de una sección de una lombriz de tierra en el que se ven las capas musculares circular y longitudinal y los compartimentos estancos llenos de líquido entre la capa de músculos longitudinales y el intestino.*

En el hombre y en otros tetrápodos se encuentra la solución más elegante al problema de la aplicación de los músculos para la traslación. Dichos animales se apoyan sobre montantes articulados que funcionan como palancas y transmiten las fuerzas generadas en los músculos al suelo para producir la propulsión. La configuración y movimiento de cada articulación está determinada por dos o más músculos dispuestos de tal manera

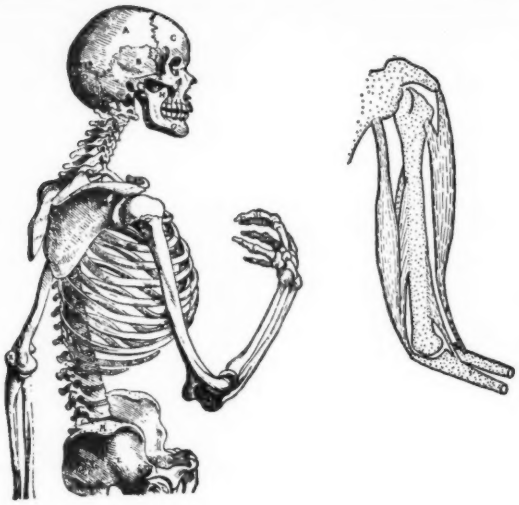


FIGURA 2 – *Izquierda: Esqueleto humano (según Vesalius* [7]). *Derecha: Diagrama del sistema muscular alternativo que rige la articulación del codo.*

que la contracción de uno de ellos o de un grupo mueve la articulación en una dirección mientras se extiende el músculo o grupo de músculos opuestos, que a su vez causan el movimiento contrario al contraerse. Algunas articulaciones, como la del codo humano (Fig. 2) funcionan en un plano único y están controladas por un sistema simple de músculos en mutua oposición. Otras articulaciones, como el hombro, son juntas de rótula y su musculatura es por consiguiente más complicada, como también lo es el mecanismo de control que estimula o detiene la acción de cada grupo muscular para producir movimiento en una dirección determinada.

Existe otro grupo animal cuyo sistema locomotor tiene notable semejanza con el de los tetrápodos: el de los artrópodos, que contiene a los insectos crustáceos, arácnidos y miriápodos. Como los artrópodos significan una distinta línea evolutiva no es extraño que su sistema locomotor, aunque semejante mecánicamente al de los tetrápodos, presente una distinta concepción. Mientras en los tetrápodos la rigidez de cada segmento de un miembro se debe a un elemento esquelético, en los artrópodos dicha rigidez está causada por la cutícula que envuelve el miembro, la cual forma un cilindro hueco que encierra músculos y otros órganos. Sin embargo, como en el caso de los tetrápodos, los segmentos se hallan articulados; la configuración de las articulaciones está determinada por pares de músculos, o por sistemas musculares más complejos, de acción alternativa; en su conjunto, el miembro funciona como una palanca que transmite las fuerzas generadas por los músculos, por medio del pie, hasta el suelo.

Existen, con todo, diferencias en este paralelismo. En ciertos artrópodos — especialmente en las arañas, escorpiones y otros arácnidos — algunas articulaciones de la pata están formadas de tal modo que no necesitan pares de músculos que actúen en oposición. Las Figs. 3 y 4 ilustran este principio mediante el contraste entre una articulación normal de artrópodo y otra «en bisagra» de una araña. En la primera (Fig. 3) el eje de la articulación pasa transversalmente por el centro del miembro, permitiendo la unión de los músculos extensor y flexor respectivamente encima y debajo de dicho eje. En la articulación en bisagra (Fig. 4), el eje cruza la parte superior del miembro y, según se ve en el diagrama, permite la adhesión de músculos flexores pero no extensores.

R. H. J. Brown y yo [4] hemos estudiado recientemente el mecanismo de extensión de los artejos de la araña, para cuya explicación se ofrecían tres posibilidades. La primera (que el artejo es elástico y se extiende al relajarse los músculos flexores)

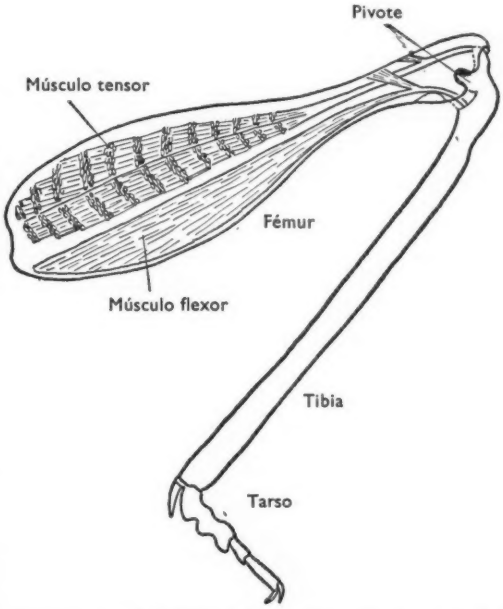


FIGURA 3 – *Diagrama de la pata trasera de la araña doméstica* Locusta migratoria *en el que se ven el músculo tensor y el flexor de la tibia y el pivote sobre el que ésta gira (según Albrecht* [1]).

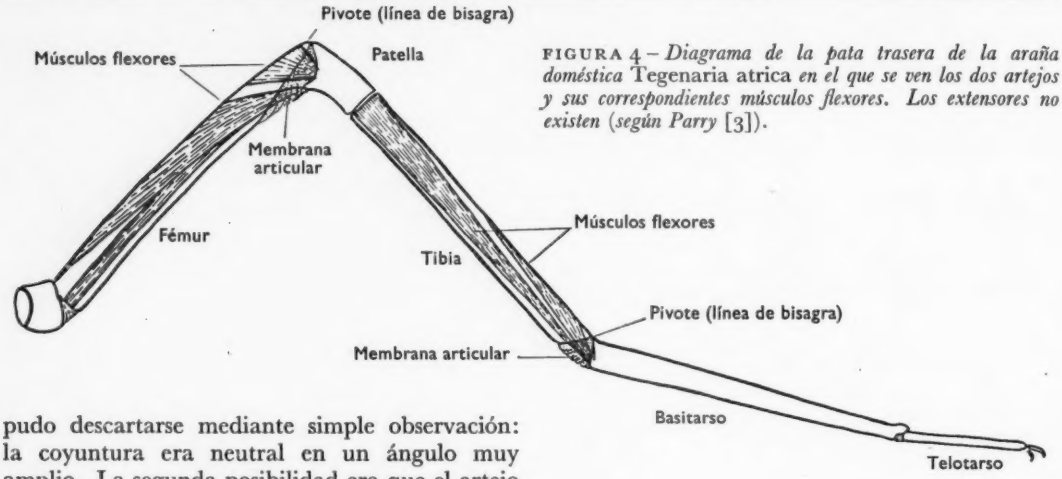


FIGURA 4 – *Diagrama de la pata trasera de la araña doméstica* Tegenaria atrica *en el que se ven los dos artejos y sus correspondientes músculos flexores. Los extensores no existen (según Parry* [3]).

pudo descartarse mediante simple observación: la coyuntura era neutral en un ángulo muy amplio. La segunda posibilidad era que el artejo se extendiese pasivamente debido a la presión del pie contra el suelo producida por la acción de los músculos en otra región de la pata. Pudimos comprobar que no era así de la siguiente manera. Acoplamos a la pata de una araña viva un pequeño anillo de latón de 45 mg de peso. La araña estaba sujeta en el aire de manera que la pata cargada se moviera en un plano horizontal, sin que la afectara la gravedad. Al debatirse la araña se observó que el artejo de la pata cargada se flexionaba y extendía, con lo que era patente que la extensión era un proceso activo causado por fuerzas interiores creadas dentro del miembro mismo. Es más, tomamos una película y medimos la aceleración angular en el artejo, pudiendo calcular así el par de torsión que causaba la extensión. A continuación describimos el uso hecho de tales cálculos.

Hay una tercera posibilidad sugerida por la observación de que el volumen de un artejo aumenta al extenderse: por lo tanto, una presión hidráulica dentro de la pata tiende a extender la articulación. Esto puede demostrarse separando el miembro (existe un plano débil en la base en el cual la amputación apenas causa pérdida de sangre) y sujetándolo con unas pinzas para cerrarlo y aumentar la presión sanguínea; se observa entonces que la pata se extiende. Utilizando el aparato de la Fig. 5 se pudo determinar la relación entre la presión sanguínea y el par de torsión en el artejo a diferentes ángulos de extensión de la coyuntura, hallándose que para desarrollar pares de la magnitud normal en el animal vivo se necesitaba una presión de unas 0,5 atmósferas, que es una presión considerablemente superior a la registrada hasta entonces en un artrópodo.

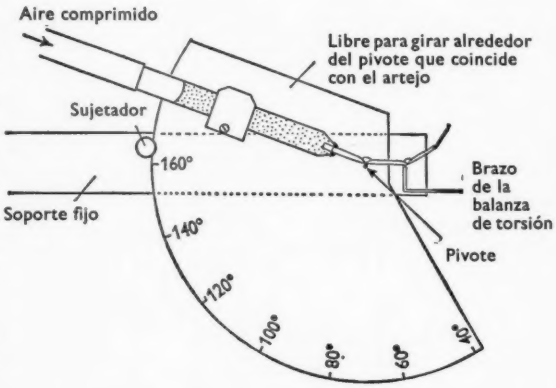


FIGURA 5 – *Método para medir la relación entre la presión interna de la pata, el ángulo de la articulación y el par de fuerzas desarrollado en el artejo* [4].

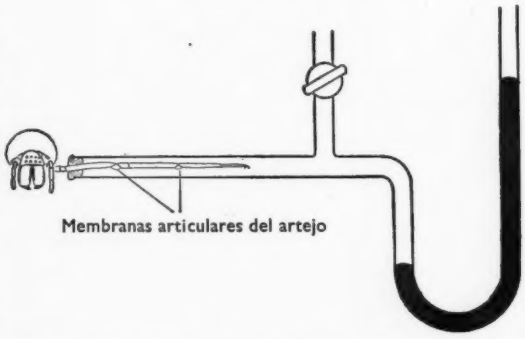
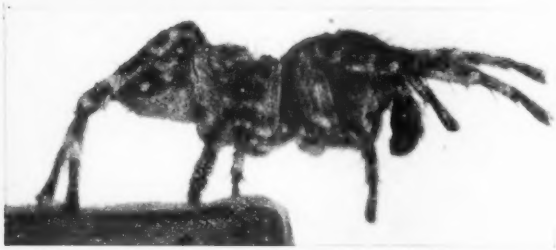


FIGURA 6 – *Método para medir la tensión sanguínea en una pata de araña. Las membranas articulares del artejo ceden cuando la presión externa supera a la sanguínea.*



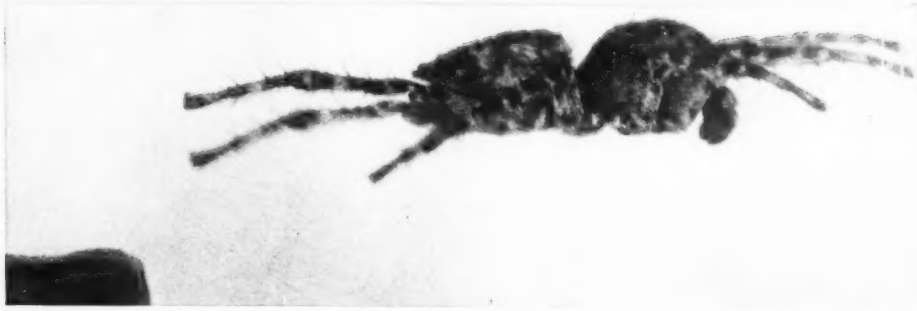


FIGURA 7 – Sitticus pubescens *saltando (intervalo entre fotogramas:* 6 *mseg). Nótese la hinchazón de las membranas articulares y la erección de las cerdas* [4].

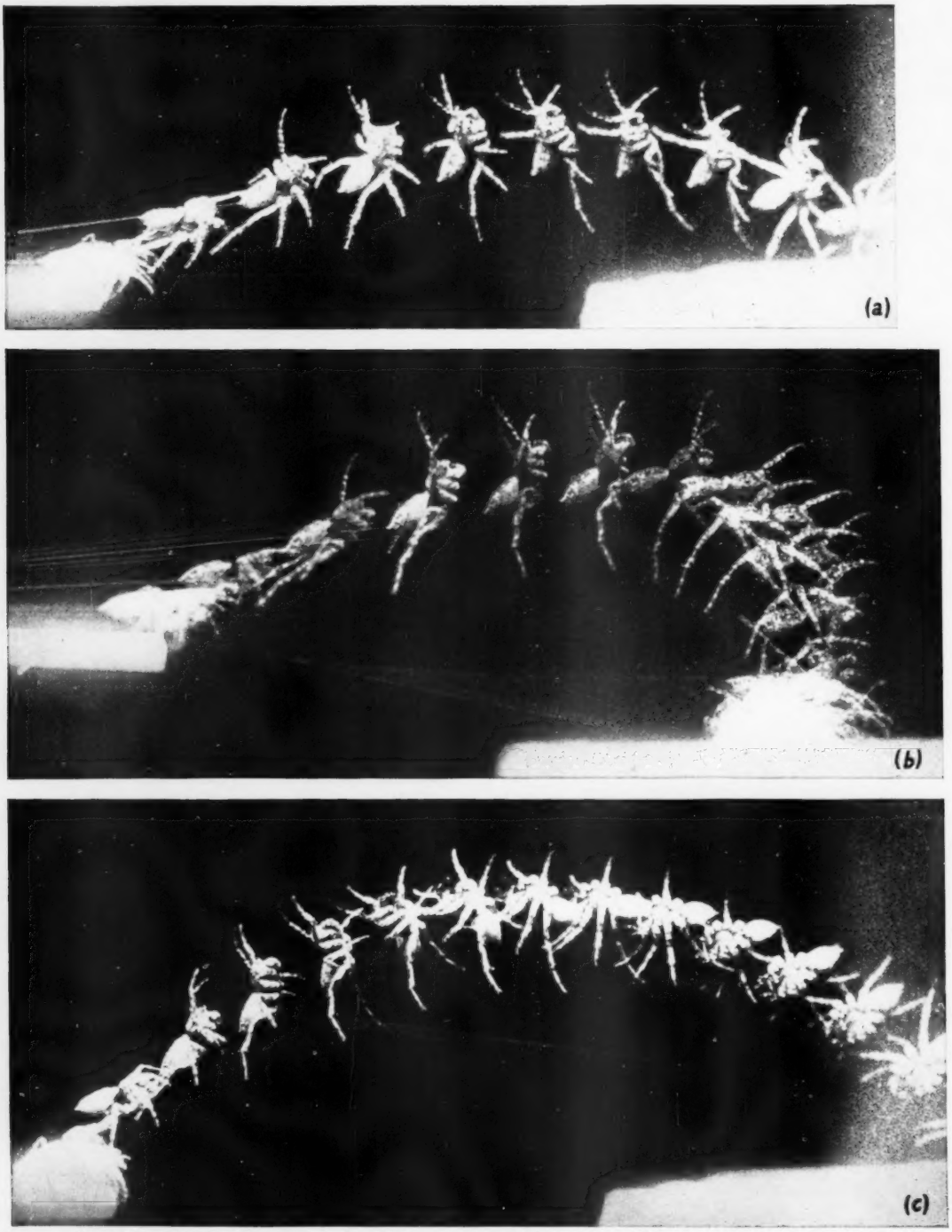


FIGURA 8 – Sitticus pubescens. *Fotografía de imagen múltiple (frecuencia de disparo: 7,5 mseg) en la que se observa el uso que hace el animal de la hebra de seda para controlar el alcance y trayectoria del salto* [5].

Para la medición de la tensión arterial de la araña existe un método básicamente similar al que se usa en el hombre, el cual depende de que las membranas articulares en los artejos son blandas y flexibles y ceden en cuanto se les aplique una presión externa superior a la interna. En nuestro experimento encerramos la pata de una araña viva en una manga transparente, para poder observar las membranas articulares (Fig. 6). Se elevó gradualmente la presión de la manga determinándose la necesaria para hacer ceder la membrana, hallándose que la presión sanguínea de una araña en reposo se mantiene en unos 5 cm de mercurio, sin duda suficiente para extender una pata sin carga, pero demasiado baja para explicar los resultados obtenidos con la pata cargada. Sin embargo, también se halló que si la araña se debatía después de haberse hundido una membrana articular, ésta volvía a inflarse temporalmente indicando que la presión interna era ahora superior a la aplicada. Las pruebas mostraron que este fenómeno se repetía hasta superar presiones externas de 40 cm de mercurio, pero no más altas, valor que explica suficientemente los pares de fuerzas observados en arañas vivas.

Esos resultados parecen apoyar la idea de que la extensión de los artejos de los arácnidos se debe a una presión hidráulica, que tiene un valor de unos 5 cm de mercurio, pudiendo subir hasta 40 cm durante breves períodos de gran actividad. Aún no sabemos ni cómo ni dónde se produce esta presión; hay indicios de que proviene del cuerpo de la araña y no de las patas mismas.

Ya indicamos anteriormente como ejemplo de articulación de sistema alternativo el artejo fémur-tibia del saltamontes (Fig. 3). El salto del animal es consecuencia de la repentina extensión de esta articulación: en la figura se ve claramente el gran tamaño de los músculos extensores. Ahora bien, ciertas arañas pequeñas (fam. *Salticidae*) también saltan una distancia de 10 cm o más para caer sobre su presa; sus ojos, especialmente desarrollados, les sirven bien en estos ataques. A diferencia del saltamontes, las patas de estas arañas no presentan anatomía especializada para el salto; sin embargo, una serie de fotografías de gran velocidad (Fig. 7) de la salticida británica *Sitticus pubescens* demuestra sin lugar a dudas que el salto se debe a la repentina extensión del par de patas traseras y especialmente de sus artejos [2]. Nos preguntamos si esta acción tan repentina y violenta puede deberse al aumento de la presión sanguínea. Lo que facilita el problema en este caso es que, a diferencia de otras salticidas, *Sitticus* salta sólo con las dos patas traseras. Las fotografías muestran que el primero y segundo pares de patas están levantados del suelo durante todo el salto, mientras que el tercero se levanta muy pronto, y puede muy bien amputarse sin que ello influya en tal acción. Podemos pues afirmar, sin grave error, que la fuerza necesaria para acelerar una araña de peso conocido a la velocidad que indican las fotografías se encuentra igualmente dividida entre ambos pies del cuarto par de patas. Por tanto, se pueden calcular los pares de fuerzas que corresponden a cada posición de las patas traseras recogida por las fotografías. Los artejos sobre los que actúan dichos pares se diferencian sólo en su tamaño respecto a los de la araña doméstica, y la relación entre par de fuerzas y presión depende únicamente del tamaño. Por consiguiente, partiendo de los datos obtenidos con la araña doméstica ha sido posible conocer la presión necesaria para producir las fuerzas de salto de *Sitticus*. Los valores así obtenidos están tan próximos de los comprobados para la araña doméstica que se consideraron suficiente prueba de que el salto de *Sitticus* se debe a fuerzas hidráulicas.

Inesperadamente, las fotografías suministraron prueba directa de la elevación de la presión sanguínea durante el salto. Cerrando con pinzas las patas amputadas de las arañas se ha comprobado que la elevación de la presión líquida dentro de la pata produce la erección de las cerdas que la recubren. La Fig. 7 muestra dicha erección en el momento en que la araña inicia el salto. Además, las cerdas de todas las patas están erectas (nótese especialmente las del primer par de patas, que no intervienen en el salto), lo cual sugiere que el aumento de presión ocurre en el cuerpo, por lo menos en la parte anterior del cuerpo, y afecta igualmente a todas las patas.

Las fotografías de imagen múltiple (Fig. 8) nos suministran más datos sobre el salto. La Fig. 8*a* muestra una hebra de seda adherida cerca del punto de salto y devanada durante el salto, la cual subtiende el arco que ha trazado el animal. Este se lanza de modo que las patas traseras se adelanten a la cabeza en el aire, pero este «efecto» se contrarresta antes de llegar al suelo, al parecer

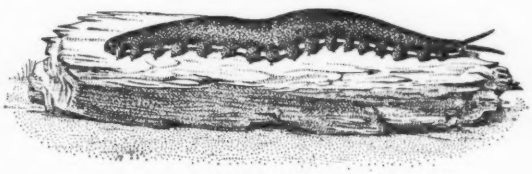


FIGURA 9 – Peripatopsis capensis [6].

por medio de la tensión que ejerce la hebra de seda. En la Fig. 8*b* vemos cómo el animal contrarresta el «efecto» inicial de modo que la fase final del salto es una caída casi vertical. Finalmente, la Fig. 8*c* muestra que si la hebra no está bien segura (en la fotografía puede verse que se ha desprendido), el animal no puede controlar el «efecto» y acaba dando una voltereta.

Desde un punto de vista biológico cabe plantearse dos preguntas frente a todo mecanismo orgánico: ¿cómo funciona? y ¿cómo ha llegado a producirse? Hemos sugerido argumentos en favor de la noción de que los artejos de las arañas funcionan por medio de músculos flexores que trabajan contra una presión hidráulica; nos queda por explicar cómo ha llegado a producirse evolutivamente tal mecanismo. Al considerar este problema no debemos olvidar el principio general de que un mecanismo orgánico tiene que haber sido funcional y competitivo a lo largo de todo el período de su evolución. Hoy se admite generalmente que los artrópodos se formaron hace más de 500 000 000 de años a partir de animales de cuerpo blando y alargado con apéndices lobuloides. El sistema de locomoción de tales animales se basaba probablemente en el principio hidráulico-muscular que hemos mencionado antes, opinión que parece reforzar la existencia actual de ciertos animales (el grupo *Onychophora*) (Fig. 9) que se aproximan mucho a ese tipo y que pudieran describirse como reliquias modificadas de los pro-artrópodos originales. Poseen una cutícula de composición química semejante a la de los modernos artrópodos, pero delgada y sin endurecer, de modo que no forma dermatoesqueleto. Como en los artrópodos, los espacios dentro del cuerpo están llenos de sangre y es probable que la presión de ésta cause la tumefacción del cuerpo y de las patas lobuloides. Estas avanzan durante la marcha gracias a la acción de los músculos que se encuentran en su base y se acortan y alargan mediante un sistema en el que actúan contra la presión del líquido músculos internos.

Si los antepasados de cuerpo blando de los artrópodos (pro-artrópodos) poseían un sistema semejante, su evolución ha debido entrañar el gradual endurecimiento de la cutícula (lo que quizás fuese originariamente una adaptación protectiva) hasta convertirse en un dermatoesqueleto rígido. En las patas, por lo menos, este endurecimiento ha debido ir acompañado del desarrollo de articulaciones, por lo que no es extraño suponer que la musculatura de la pata se modificó formando un sistema alternativo. Una vez establecido éste, la sangre cesó de intervenir como elemento activo en el mecanismo de locomoción, llegándose al estado de cosas que hoy se observa en la mayoría de los artrópodos.

Parecen existir dos posibles modos de evolución del artejo. El primero — que se trata de un desarrollo secundario de la articulación bimusculada — plantea ciertas dificultades. No parece clara la ventaja selectiva de tal desarrollo, ni es fácil imaginar cuales hayan sido las fases intermediarias durante las que se fue desplazando el eje de la articulación y modificándose el sistema hidráulico. La segunda posibilidad — que el artejo se derivó independientemente partiendo de la situación existente en los pro-artrópodos — evita dichas dificultades: un apéndice lobuloide endurecido por la presión sanguínea y cuya cutícula adquiere rigidez desarrolla articulaciones y se flexiona por medio de músculos, aunque continúa usando la presión sanguínea para extenderse. Esta hipótesis entraña interesantes consecuencias referentes a la evolución del grupo de los artrópodos como un todo, tema de no pocas controversias. En términos generales, existen dos hipótesis. Una es que los pro-artrópodos de cuerpo blando produjeron como descendencia un solo tipo de artrópodo — de cuerpo endurecido y con articulaciones — del que después se derivaron todos los grupos de artrópodos. La segunda es que del antepasado pro-artropoide descendieron independientemente dos o más grupos de artrópodos. La presencia de articulaciones en bisagra entre los arácnidos parece comprobar que este grupo, cuando menos, es producto de una tal evolución independiente.

REFERENCIAS

[1] ALBRECHT, F. O. «The Anatomy of the Migratory Locust». The Athlone Press, Londres. 1953.

[2] BRISTOWE, W. S. «The Comity of Spiders», Vol. II, pág. 231. Ray Society, Londres. 1941.

[3] PARRY, D. A. *Quart. J. micr. Sci.*, **98**, 331, 1957.

[4] PARRY, D. A. y BROWN, R. H. J. *J. exp. Biol.*, **36**, 423, 1959.

[5] *Idem. Ibid.*, **36**, 654, 1959.

[6] SEDGWICK, A. *Quart. J. micr. Sci.* **28**, 431, 1888.

[7] VESALIUS. «Tabulae anatomicae sex». 1538. De una edición facsímil impresa privadamente para Sir. W. Stirling-Maxwell, Londres. 1874.

La estructura del núcleo

J. HAMILTON

Las investigaciones recientes permiten entrever cierta distribución sistemática en la estructura del núcleo atómico, aunque faltan muchas cuestiones importantes por aclarar. Pese a ciertas características desconcertantes, parece que los protones y los neutrones componentes del núcleo se mueven libremente en órbitas en torno al centro de masas, como los electrones alrededor del núcleo. Estudiamos aquí las pruebas experimentales en pro de la estructura del núcleo, analizándose su importancia en el cosmos nuclear.

COMPARACIÓN ENTRE ÁTOMO Y NÚCLEO

El núcleo es la pequeña entidad de unos 10^{-12} cm de radio, situada en el centro del átomo, compuesta de Z protones y de N neutrones, cuya suma ($A=N+Z$) se llama peso atómico y representa, aproximadamente, el peso del núcleo si se toma como unidad la masa del protón. La carga del núcleo es Ze debida a los Z protones, puesto que el neutrón carece de carga. Salvo esta diferencia, protones y neutrones tienen propiedades muy parecidas y conviene denominar indiferentemente «nucleones» a ambos.

La masa del núcleo no es exactamente A veces la del protón, en primer lugar porque el neutrón es 0,14% más pesado que aquél, y en segundo porque la ecuación de Einstein $E=Mc^2$ (E, energía, M masa y c velocidad de la luz) significa que un núcleo muy trabado pesa un poco menos que otro con las mismas partículas enlazadas más sueltamente. La energía de ligado B se expresa por

$$B=c^2(ZM_p+NM_p-M_{núcl}) \quad \ldots . (1)$$

si $M_{núcl}$, M_p y M_p son las masas observadas del núcleo, de un protón y de un neutrón.

Son más fáciles de apreciar los problemas de la estructura nuclear si comparamos el núcleo y el átomo. El radio de aquél es unas 10^{-5} veces menor que el del átomo. La energía de ligado de un núcleo es 10^5 ó 10^6 veces mayor que la energía de ligado del átomo correspondiente; por ejemplo, las diferencias entre los niveles de energía en núcleos ligeros son del orden de 1 MeV, mientras que en los átomos ligeros difieren en 10 eV o menos. Es esta gran disparidad entre las energías vinculadas al núcleo y al átomo lo que hace mucho más poderosos los explosivos nucleares que los clásicos.

El átomo contiene Z electrones, cuya masa individual es $\simeq 1/2\,000$ de la del protón, moviéndose en órbitas en torno al núcleo. Los A nucleones del núcleo están siempre en movimiento, pero como todos tienen igual masa y están constantemente chocando entre sí no cabe esperar que tengan órbitas sencillas. El átomo se mantiene entero por la fuerza (de Coulomb) electrostática que atrae a los electrones cargados negativamente hacia el núcleo, de carga positiva; esa fuerza vale Ze^2/r^2 para un electrón que diste r de aquél. En el núcleo hay una repulsión electrostática entre los protones; por tanto, ha de mantenerse unido por alguna fuerza diferente, desconocida en la física o química clásicas; la gravedad es demasiado débil: para trabar el núcleo tendría que ser 10^{37} veces mayor.

Esta fuerza nueva, que llamaremos fuerza nuclear, debe ser atractiva y mayor en un orden de magnitud que la fuerza de Coulomb entre dos protones, puesto que existen núcleos estables con muchos protones: el ^{208}Pb, por ejemplo, contiene 82. Creemos que la fuerza nuclear obra entre todos los pares de nucleones en el núcleo.

LA DISTRIBUCIÓN DE LOS ELECTRONES Y LOS NUCLEONES

La distribución de los electrones en el átomo es muy distinta de la distribución de los nucleones en el núcleo. Solamente los electrones más interiores del átomo sufren por entero la atracción Ze^2/r^2 hacia el núcleo. Se mueven en órbitas de Bohr cuyo radio es $a_z=\hbar^2/me^2Z=5{,}3\times10^{-9}/Z$ cm, donde $2\pi\hbar$ es la constante de Planck y m la masa del electrón. La energía de ligado de estos electrones más interiores es $me^4Z^2/2\hbar^2=13{,}6\ Z^2$ eV. Los electrones más alejados del núcleo no sufren completa la atracción de Coulomb, puesto que están protegidos respecto del núcleo por los interiores. En realidad, los electrones exteriores son atraídos hacia el núcleo por una fuerza poco mayor que e^2/r^2, o sea que los radios y energías de sus órbitas son independientes del número atómico Z, en primera aproximación.

Esto tiene varias consecuencias importantes:

*A*1) La densidad de electrones en el átomo no es uniforme; cerca del núcleo hay más electrones por unidad de volumen que en las partes exteriores del átomo.

*A*2) El volumen ocupado por el átomo libre no aumenta de modo sistemático cuando crece Z; las variaciones de volumen entre elementos están más relacionadas con la posición de éstos en la Tabla Periódica.

*A*3) La energía total de ligado de los electrones la determinan en su mayor parte los más interiores y aumenta con Z, como $Z^{7/3}$, aproximadamente.

Veamos ahora las propiedades correspondientes del núcleo. Por diversos experimentos se sabe que:

*N*1) La densidad de nucleones en un núcleo grande es uniforme desde el centro hasta una región superficial bastante delgada donde se anula rápidamente pero de modo gradual.

*N*2) El radio de la mayoría de los núcleos lo da la fórmula

$$R = r_0 A^{1/3} \qquad \ldots . (2)$$

donde r_0 es una constante ($\simeq 1{,}2 \times 10^{-13}$ cm). El volumen del núcleo es $(4\pi/3)Ar_0^3$, o sea que la densidad es independiente del peso atómico A.

*N*3) La energía total de ligado B de los núcleos estables es, en general, proporcional a A, como se ve trazando B/A, la energía de ligado por cada nucleón, como función de Z (Fig. 1). Desde $A = 20$ hasta $A = 160$ es poco más de unos 8 MeV por nucleón. Para $A > 160$ disminuye ligeramente porque la repulsión de Coulomb entre los 70 u 80 protones en estos núcleos grandes resulta más importante. Para $A < 20$ disminuye porque los núcleos ligeros son casi todo superficie y carecen de región uniforme interior.

LA SATURACIÓN DE LA MATERIA NUCLEAR

En cada punto: *N*1), *N*2) y *N*3), las propiedades nucleares son claramente distintas de las propiedades atómicas correspondientes: *A*1), *A*2) y *A*3). Parece que las propiedades de la materia nuclear son en gran parte independientes del número de nucleones. Si duplicamos la cantidad de materia nuclear, se duplica sencillamente el volumen del

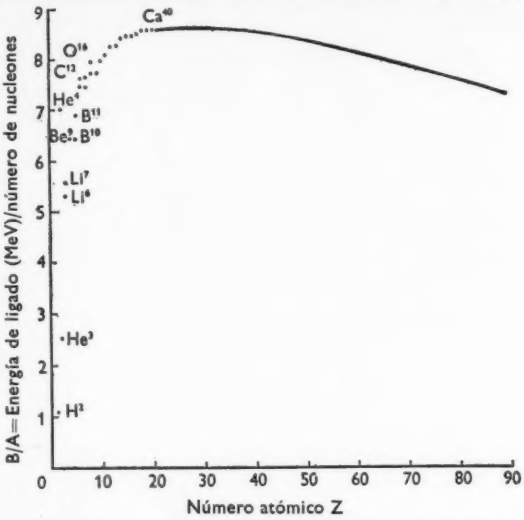


FIGURA 1 – *La energía de ligado por nucleón en los núcleos estables, representada en función del número atómico.*

núcleo y también su energía total de ligado. Estas propiedades son más similares a las de un líquido que a las de la estructura electrónica de los átomos.

La cohesión de los líquidos se debe a la fuerza atractiva entre moléculas vecinas cuya separación no es mayor que algunos de sus radios. Cuando dos moléculas se aproximan tanto que sus capas de electrones se tocan hay una fuerte repulsión. Esta combinación de la repulsión fuerte de corto alcance y la atracción de alcance largo entre moléculas próximas permite que cualquier gota de líquido (que contiene un número de moléculas suficientemente grande) tenga una densidad única que es independiente del número total de moléculas en la gota. Empleamos la palabra saturación para el hecho de que si se añaden más moléculas no aumenta la densidad o la energía cohesiva por molécula.

Está claro que en el núcleo se da un fenómeno similar de saturación, y su existencia implica que la fuerza nuclear no puede ser de atracción entre cada par de nucleones a todas las separaciones. Un sencillo cálculo demuestra que si así fuera, estaría energéticamente preferido un «estado de colapso» del núcleo. En tal estado cada uno de los A nucleones está dentro de la zona de atracción de todos los demás, lo que da una energía potencial total negativa que varía según A^2. La energía cinética total es positiva y puede probarse que para el estado de colapso es proporcional a A, si se prescinde del principio de exclusión, que dice

que dos o más nucleones no pueden hallarse en el mismo estado de mecánica ondulatoria. Verdaderamente, no puede prescindirse de este principio en el núcleo. Cuando se le tiene en cuenta en el estado de colapso exige que algunos nucleones se hallen en estados de mayor cantidad de movimiento que si se tratara de otro caso, con lo que resulta que la energía cinética en el estado de colapso es proporcional a $A^{5/3}$ en vez de a A. Para $A > 20$ predomina la energía potencial, por lo que la energía total de ligado en un núcleo pesado o mediano varía según A^2, mientras que vimos en N3) que debería variar según A. También es mucho mayor el valor calculado para la energía de ligado en el estado de colapso que los valores observados. Se deduce que los núcleos reales no se hallan en el estado de colapso y por tanto la fuerza entre cada par de nucleones ha de tornarse de repulsión a cierta distancia: no puede ser de atracción a todas las distancias.

LA SATURACIÓN Y LA FUERZA NUCLEAR

El concepto de la saturación de la materia nuclear es tan fundamental para nuestro conocimiento de los núcleos que nos gustaría poder dar una explicación sencilla de su existencia. Por desgracia, la saturación no es el resultado de ningún principio básico de la física; hemos de examinar varios fenómenos con detalle antes de comenzar a ver cómo tiene lugar.

Primero examinamos la naturaleza de la fuerza entre dos nucleones, o sea la fuerza nuclear. Aquí podemos experimentar directamente. Con protones inicialmente en reposo se pueden dispersar protones o neutrones de gran energía, producidos mediante un ciclotrón o sincrociclotrón. Los experimentos de dispersión efectuados con protones y neutrones de varias energías proporcionarán considerable información acerca de las fuerzas entre nucleones. Establecemos entonces el importante supuesto de que la fuerza entre dos nucleones dentro del núcleo sea la misma que cuando no hay otros nucleones presentes.

Por razones prácticas no podemos conocer de este modo la fuerza entre dos neutrones pero la deducimos por el principio de la simetría de la carga, que afirma la identidad de la fuerza entre dos neutrones y la que hay entre dos protones, si se prescinde de la repulsión de Coulomb. La prueba de la simetría de la carga procede de los núcleos-imágenes: el cambio de neutrones por protones y viceversa en un núcleo, da el núcleo-imagen del primero: ^{3}H, ^{3}He; ^{5}He, ^{5}Li; ^{10}Be, ^{10}C; ^{11}B, ^{11}C; ^{13}C, ^{13}N; ^{14}C, ^{14}O y ^{18}O, ^{18}Ne, en su mayoría núcleos inestables con respecto a la emisión de partículas beta, son ejemplos de pares-imágenes. Es fácil calcular la diferencia en energías de Coulomb entre los miembros de un par y cuando se ha tenido en cuenta, se halla que son casi idénticas las energías de los estados fundamentales y de los niveles excitados correspondientes a los miembros de cualquier par de imágenes. También son idénticas (Fig. 2) otras propiedades de tales estados como sus espines y paridades. En otras palabras, el cambio de neutrones y protones entre sí en un núcleo altera sólo la energía de Coulomb (y la otra propiedad electromagnética, el momento magnético); esto prueba la simetría de la carga.

EL CENTRO DURO

Según el principio de la simetría de la carga, los experimentos de dispersión prueban que las fuerzas entre cualquier par de nucleones son de atracción a distancias del orden de los 10^{-13} cm, pero a menos de $0{,}4 \times 10^{-13}$ cm las fuerzas se vuelven muy repelentes. Esta zona de fuerte repulsión a distancias cortas recibe el nombre de «centro duro» (*hard core*).

A primera vista podría parecer que el centro duro, junto con la atracción a distancias más largas, es precisamente lo que necesitamos para

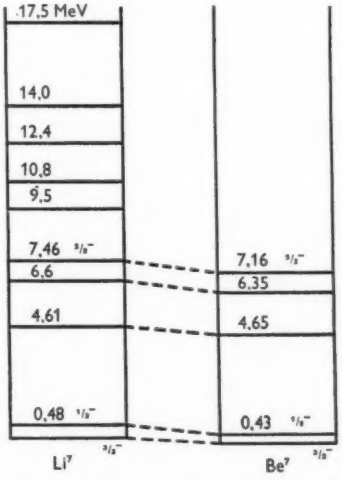


FIGURA 2 – *Los niveles conocidos de energía de los núcleos-imágenes ^{7}Li y ^{7}Be. Las energías de los estados excitados sobre los fundamentales se dan en MeV. Los niveles representados han sido ajustados restándoles la diferencia de energía de Coulomb. Las líneas de puntos unen los estados correspondientes; se indican los espines y paridades conocidos.*

explicar la saturación de la materia nuclear. Desgraciadamente, cuando estudiamos en detalle la situación se halla que esta fuerza entre nucleones daría saturación únicamente para densidades diez veces mayores que la observada en la materia nuclear, o dicho de otro modo, el centro duro no tiene un radio lo suficientemente grande para explicar por sí mismo la saturación nuclear observada. Hemos de buscar otras propiedades de la fuerza nuclear para explicar completamente la saturación.

LAS FUERZAS DE INTERCAMBIO

Otra propiedad importante de las fuerzas nucleares es su naturaleza de intercambio, propuesta originalmente por Heisenberg y por Majorana siguiendo la analogía con la fuerza química entre dos átomos de hidrógeno. En química, la fuerza de intercambio aparece cuando se cumplen dos requisitos: *a*) los electrones cumplen el principio de exclusión, y *b*) la función de onda para los dos electrones tiene ciertas propiedades sencillas de simetría. Esto hace que haya cierta probabilidad de que ambos electrones se hallen en la zona entre los dos protones y ello da origen al enlace de valencia. Es prudente considerar esta fuerza como procedente del intercambio de los electrones entre los dos átomos. En la física clásica no hay nada análogo a esta fuerza de intercambio.

La fuerza de intercambio entre dos átomos de hidrógeno es de atracción si la función de onda de los dos electrones no se altera cuando las posiciones de estos cambian entre sí (función de onda simétrica), y es de repulsión si la función de onda varía de signo respecto de tal cambio (función de onda antisimétrica). La energía potencial de la interacción es por tanto de la forma $V(r)P_x$, donde P_x es un operador que intercambia las posiciones de los electrones. Sobre una función de onda simétrica, P_x la multiplica por $+1$, mientras que el efecto del operador sobre una función de onda antisimétrica es multiplicarla por -1.

Se ha sugerido que la energía potencial de la interacción de dos nucleones (para distancias $r > 0{,}4 \times 10^{-13}$ cm) es de la forma $V_0(r) + V_e(r)P_x$. Así, si dos nucleones se hallan en un estado que es espacialmente simétrico, la energía es $V_0(r) + V_e(r)$; si el estado es espacialmente antisimétrico la energía potencial es $V_0(r) - V_e(r)$. Por tanto es bastante fácil admitir que para separaciones del orden de 10^{-13} cm dos nucleones tienen gran atracción mutua si se hallan en un estado espacialmente simétrico, mientras que no se atraen, o se repelen, si están en un estado que es espacialmente antisimétrico. Abundan las pruebas de que la fuerza nuclear tiene tal comportamiento: vàmos a estudiar sus consecuencias.

EL PRINCIPIO DE EXCLUSIÓN Y LA SATURACIÓN

Como vimos, el principio de exclusión dice que dos nucleones no pueden hallarse exactamente en el mismo estado. Cada nucleón tiene cuatro grados de libertad internos, debido a que cada uno tiene dos valores posibles para su carga (según sea protón o neutrón) y dos valores posibles de espín (dirigido hacia arriba o hacia abajo en una dirección cualquiera). Por tanto, el principio de exclusión afirma que pueden tener idéntica función de onda espacial a lo sumo cuatro nucleones que serían dos neutrones con espines opuestos y dos protones con espines opuestos.

El principio de exclusión, junto con la naturaleza de intercambio de la fuerza nuclear podrían dar la saturación nuclear. Un modo sencillo aunque aproximado de ver cómo tiene lugar es el siguiente: supongamos varios nucleones muy apiñados; según el principio de exclusión podemos tener hasta cuatro de ellos en un mismo punto, pero no cinco. Dicho de otro modo, la función de onda del quinto nucleón debe anularse en la posición de los otros cuatro. La manera más simple de que ocurra es que la función de onda sea antisimétrica con respecto al intercambio del quinto nucleón con cualquiera de los cuatro primeros. Por tanto, aunque la fuerza nuclear pueda ejercer una gran atracción entre los cuatro primeros gracias a la propiedad de intercambio, el quinto no será atraído por ninguno de ellos. Este comportamiento basta para producir la saturación puesto que da origen a una energía potencial que variará según A solamente.

Un estudio más cuidadoso prueba que esta explicación aproximada es realmente válida. Además esperamos que una combinación del centro duro a distancias pequeñas y las fuerzas de intercambio a mayores separaciones permita explicar la saturación nuclear observada. Sin embargo, esto lleva a un difícil problema matemático que sólo en parte se ha resuelto. Es necesario considerar el movimiento en mecánica ondulatoria de cada nucleón bajo la influencia de las interacciones conocidas de todos los demás. También ha de tenerse en cuenta el principio de exclusión al resolver este difícil problema de n cuerpos. El resultado debe dar la densidad observada de la materia nuclear y la energía de

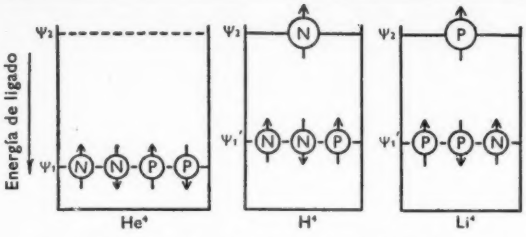


FIGURA 3 – *El modelo de partículas independientes para los ^4He, ^4H y ^4Li. El principio de exclusión tiene participación importante para determinar la estabilidad de estos núcleos.*

ligado observada por cada partícula. Aunque Brueckner ha hecho importantes progresos en este sentido, nos parece que estamos todavía lejos de algo que parezca una solución adecuada de este problema matemático fundamental.

LAS SIMETRÍAS NUCLEARES

El principio de exclusión y la naturaleza de intercambio de las fuerzas nos ayudan también a explicar algo de las sencillas simetrías que se observan en los núcleos estables. Sólo cabe aquí el ejemplo más simple: la apretada ligazón del ^{4}He sin que exista otro núcleo con $A=4$. Podemos comenzar a comprender este hecho si recordamos que el principio de exclusión permite que los cuatro nucleones del ^{4}He se hallen en el mismo estado espacial ψ_1 (compárese con la Fig. 3). Cada nucleón es entonces atraído fuertemente por los otros tres y resulta un núcleo muy trabado. Si intentamos formar otros núcleos con $A=4$, tales como serían los de ^{4}H ó ^{4}Li, el principio de exclusión permite solamente a tres de los nucleones que se hallen en el estado inferior ψ'_1 (compárese con la Fig. 3). Este estado tiene menor energía de enlace que el ψ_1, puesto que solamente hay tres pares que se atraen, mientras que en ψ_1 hay seis. También el cuarto nucleón ha de hallarse en algún otro estado ψ_2 que forzosamente tiene mucha menos energía de enlace que el ψ_1'. Junto con otros efectos que actúan en el mismo sentido, esto explica que no existan el ^{4}H ni el ^{4}Li; por supuesto, si existieran se desintegrarían por emisión de partículas beta.

LA TEORÍA DEL MESÓN

La naturaleza de intercambio de las fuerzas nucleares es una noción atrayente porque está íntimamente relacionada con la teoría del mesón. Es un principio general en la física de las partículas elementales que las fuerzas entre éstas tienen campos correspondientes. Por ejemplo, la fuerza entre dos electrones en movimiento se propaga por el campo de Maxwell; de igual manera, la fuerza entre dos nucleones se propaga mediante lo que llamamos el campo del mesón. Otro principio general dice que estos campos pueden aparecer también en forma de partículas o de cuantos. Por ejemplo, el campo de Maxwell está relacionado con el fotón, el cuanto de la radiación electromagnética. De igual manera, el campo del mesón está relacionado con una nueva partícula que llamamos el mesón pi o pión: es el cuanto del campo del mesón.

Ahora mostramos cómo pueden deducirse algunas de las propiedades sencillas del campo del mesón. La fuerza de Coulomb entre dos partículas con carga se propaga mediante el campo electrostático $\varphi(x)$, que sigue la ecuación de Poisson (donde ρ es la densidad de carga):

$$\triangle^2\varphi = -4\pi\rho \qquad \ldots . (3)$$

Yukawa sugirió que el campo del mesón $\psi(x)$ por el que es propagada la fuerza entre dos nucleones, sigue la ecuación (donde σ es la densidad de nucleones):

$$\triangle^2\psi - k^2\psi = -4\pi\sigma \qquad \ldots . (4)$$

Aquí k^{-1} es una longitud, es el alcance de las fuerzas nucleares, puesto que el campo $\psi(x)$ en torno a un nucleón tiene la forma

$$\psi(x) = r^{-1}e^{-kr} \qquad \ldots . (5)$$

Por supuesto, k^{-1} ha de ser algo mayor que 10^{-13} cm para estar en concordancia con nuestras ideas sobre las fuerzas nucleares.

Yukawa también estudió la nueva partícula que él creía relacionada con este campo ψ. La masa de esta nueva partícula es $m_\pi = kc/\hbar$. Tomando $k^{-1} = 1{,}4 \times 10^{-13}$ cm da $m_\pi = 273 \times$ (masa del electrón). Una partícula con esta masa, el mesón pi o pión, fue luego descubierta por Powell. Podemos decir que el pión transmite la fuerza entre nucleones.

Una simple teoría muestra cómo puede haber fuerzas de intercambio entre nucleones. Consideremos la interacción de un protón y un neutrón; la parte de ψ que se refiere a los piones con carga transmite ésta de un nucleón a otro. Dicho de otra manera: la interacción trastrueca entre sí a protón y neutrón. De un modo análogo, el pión neutro puede dar una fuerza de intercambio entre dos protones o dos neutrones.

Desgraciadamente, esta sencilla teoría es demasiado tosca para explicar por qué la fuerza entre nucleones se comporta como un centro duro a pequeñas distancias.

LOS NÚMEROS MÁGICOS

Hemos destacado hasta aquí las claras diferencias entre las estructuras del núcleo y del átomo; en particular, las propiedades de saturación sugieren una distribución bastante homogénea de la materia en todo un núcleo mediano o pesado. Por tanto, es un hecho bastante sorprendente que los núcleos muestren indicios de una estructura en capas similar a la estructura de los átomos.

La prueba más sencilla de esta estructura en capas procede de las propiedades anómalas de los núcleos con un número mágico de neutrones o de protones: los números mágicos son 2, 8, 20, 28, 50, 82 y 126. Los núcleos con números mágicos tienen propiedades bastante diferentes de las de los núcleos con valores vecinos de N o de Z y podría parecer que tienen en cierto modo una estructura de capa completa, de forma análoga a los átomos de gas noble que tienen completas sus capas electrónicas.

Hay numerosas pruebas de la existencia de los números mágicos: la más sencilla es el número de núcleos estables que tienen un determinado valor de Z o de N. Una de las simetrías más claras en los núcleos es que hay muchos más núcleos estables con N par y Z par, que de cualquier otro tipo. Sin embargo, existen además en particular muchos núcleos estables con valores de números mágicos en sus N o Z. Por ejemplo, considerando los valores en torno a $Z=20$ y a $Z=50$, tenemos:

Elemento	A	K	Ca	Sc	Ti	V	Cr
Z	18	19	20	21	22	23	24
Número de isótopos estables	3	2	6	1	5	2	4
Elemento	Ag	Cd	In	Sn	Sb	Te	
Z	47	48	49	50	51	52	
Número de isótopos estables	2	8	1	10	2	8	

Veamos el número de isótonos estables, esto es, núcleos con un determinado valor de N. En torno a $N=20$ y $N=50$, tenemos:

N	18	19	20	21	22	48	49	50	51	52
Número de isótonos estables	3	0	5	0	3	4	1	5	1	4

Las energías de ligado muestran también discontinuidades definidas en los núcleos con números mágicos. El ^{40}Ca es un núcleo doblemente mágico con $Z=20$ y $N=40$. La configuración con 20 protones es particularmente estable, como bien se ve, puesto que pueden añadirse 8 neutrones más y se sigue teniendo un isótopo estable: el ^{48}Ca. Este es el isótopo estable más ligero con una diferencia $N-Z$ tan grande como 8; el próximo es el ^{64}Ni que tiene el número mágico $Z=28$. Los núcleos estables más ligeros con $N-Z$ igual a 3 y a 4 son los ^{37}Cl y ^{36}S respectivamente; ambos tienen $N=20$, probando que la configuración con 20 neutrones es sobremanera estable.

Hay otras muchas pruebas semejantes. Proceden de consideraciones como las de la energía de ligado del último nucleón, la abundancia total de isótopos en la Tierra, el número de isótonos o isótopos inestables respecto de la emisión de partículas beta, las energías de excitación de los primeros niveles excitados del núcleo, las secciones eficaces de captura de neutrones por los núcleos y las pequeñas discrepancias de los radios de los núcleos respecto de la fórmula (2). Todas ellas señalan la existencia de capas completas de protones o neutrones, muy apretadamente ligadas, en los núcleos con números mágicos.

EL MODELO DE CAPAS

La manera más sencilla de explicar los números mágicos es prescindir de la mayor parte de nuestros conocimientos acerca de la interacción de los nucleones y suponer que cada uno en el núcleo se mueve libremente en una órbita en torno al centro de masas del núcleo. Esto nos da el modelo de núcleo en capas.

Es útil ahora recordar la estructura en capas de los átomos. El número de electrones de las primeras cinco capas es el siguiente:

Capa ..	I	II	III	IV	V
Estados ..	$1s$	$2s$, $1p$	$3s$, $2p$	$4s$, $1d$, $3p$	$5s$, $2d$, $4p$
Número de electrones por capa ..	2	2, 6	2, 6	2, 10, 6	2, 10, 6
Número total de electrones	2	10	18	36	54

Los estados se escriben de izquierda a derecha según se llenan, de modo que en cualquier átomo dado la energía de ligado de los estados disminuye

de izquierda a derecha. Los gases nobles, He, Ne, A, Kr, Xe, . . . están en los lugares con capas completas llenas con 2, 10, 18, 36, 54 . . . . electrones. El orden de los niveles depende de la naturaleza de la fuerza, que en este caso es la electrostática.

Una fuerza electrostática podría no ser conveniente para un núcleo. Suponemos que cada nucleón se mueve libremente en una órbita bajo la influencia de la misma atracción hacia el centro del núcleo. Esta atracción se supone que es el promedio de la interacción de todos los restantes nucleones con el que consideramos. Resulta que una fuerza isotrópica obedeciendo la ley de Hooke es una buena aproximación para esta atracción central. Esta ley de la fuerza da una nueva ordenación a los niveles, obteniéndose la siguiente estructura en capas para los neutrones (y por supuesto las mismas capas para los protones):

Capa	I	II	III	IV	V
Estados	1*s*	1*p*	1*d*, 2*s*	1*f*, 2*p*	1*g*, 2*d*, 3*s*
Número de neutrones por capa . .	2	6	12	20	30
Número total de neutrones . .	2	8	20	40	70

Según este esquema las capas completas contienen 2, 8, 20, 40, 70 . . . neutrones, de forma que aunque los tres primeros números mágicos vienen dados correctamente, lo que sigue del esquema es erróneo. Con una fuerza de acuerdo con la ley de Hooke son degenerados los estados en cada capa, esto es, 1*d* y 2*s* tienen la misma energía, y así sucesivamente. Si se cambia la ley de la fuerza se evitará un poco esta degeneración, pero no podemos de esta manera lograr los números mágicos correctamente por encima de 20. En la Fig. 4 se muestran los resultados con el pozo de potencial cuadrado.

La Sra. Goeppert-Mayer, Jensen y otros han demostrado cómo podría obtenerse el esquema correcto si cada nucleón está sometido a una fuerza de espín orbital, aparte de la fuerza central. Esta fuerza alinea de preferencia el espín del nucleón en el mismo sentido que su momento cinético orbital en torno al centro de masas del núcleo. Sabemos que existe tal fuerza de espín orbital porque los protones o los neutrones dispersados por los núcleos están polarizados, o sea

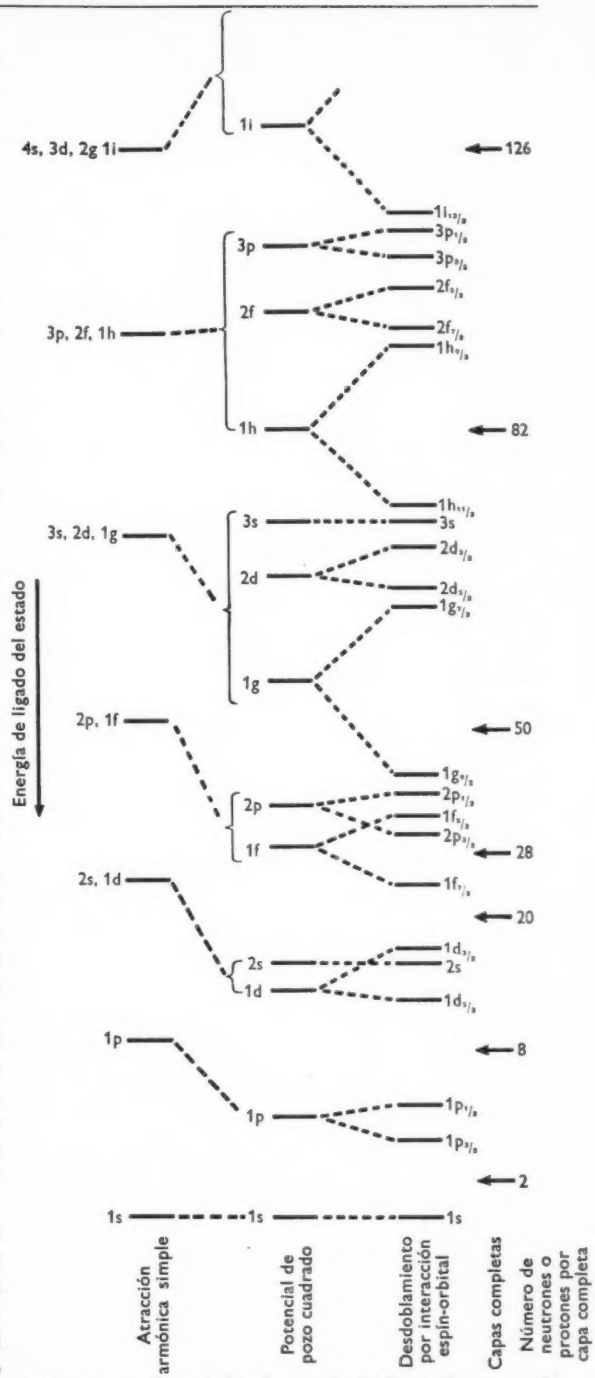


FIGURA 4 – *Los niveles de energía de los nucleones en el modelo de capas. Las columnas representan:* a) *niveles debidos a la atracción que sigue la ley de Hooke,* b) *niveles debidos al potencial de pozo cuadrado,* c) *la división del espín orbital.*

que sus espines están alineados como consecuencia de la dispersión.

Este esquema da la estructura correcta de las capas para los neutrones o protones (compárese con la Fig. 4):

Capa ..	I	II	III	IV
Estados ..	$1s$	$1p_{3/2}$, $1p_{1/2}$	$1d_{5/2}$, $2s$, $1d_{3/2}$	$1f_{7/2}$
Número de neutrones por capa ..	2	4, 2	6, 2, 4	8
Número total de neutrones ..	2	8	20	28

Capa	V	VI
Estados ..	$2p_{3/2}$, $1f_{5/2}$, $2p_{1/2}$, $1g_{9/2}$	$1g_{7/2}$, $2d_{5/2}$, $2d_{3/2}$, $3s$, $1h_{11/2}$
Número de neutrones por capa ..	4, 6, 2, 10	8, 6, 4, 2, 12
Número total de neutrones ..	50	82

Los subíndices representan el momento cinético del nucleón, así $p_{3/2}$ y $p_{1/2}$ son estados p en los cuales el espín y el momento cinético orbital son respectivamente paralelos y antiparalelos.

La interacción de espín orbital aumenta con el valor del momento cinético orbital. Así el nivel $1p$ se divide en $1p_{3/2}$ y $1p_{1/2}$ que están suficientemente próximos en energía para formar una capa. De igual modo $1d_{5/2}$ y $1d_{3/2}$ formarán una capa con $2s$. Sin embargo, $1f_{7/2}$ es suficientemente rebajado para formar una nueva capa, y $1g_{9/2}$ está tan bajo que se agrega a la capa $2p_{3/2}$, $1f_{5/2}$, $2p_{1/2}$. Este esquema justifica los números mágicos hasta el 126 inclusive.

Hay numerosas deducciones sencillas e importantes a partir del modelo de capas. Daremos un solo ejemplo. El núcleo ^{11}B tiene $Z=5$, $N=6$; por tanto, sus neutrones completarán todos los estados $1s$ y $1p_{3/2}$ mientras que sus protones ocuparán los mismos estados salvo un $1p_{3/2}$. Por ello el núcleo ^{11}B deberá tener espín 3/2 y ser de paridad negativa, como ocurre en realidad. De igual manera los núcleos ^{13}C, ^{15}N, y ^{17}O deberán tener espines $\frac{1}{2}$, $\frac{1}{2}$ y $\frac{5}{2}$ respectivamente, lo que también demuestrano los experimentos. Se han comprobado numerosas consecuencias más del modelo en capas, que distan de ser triviales.

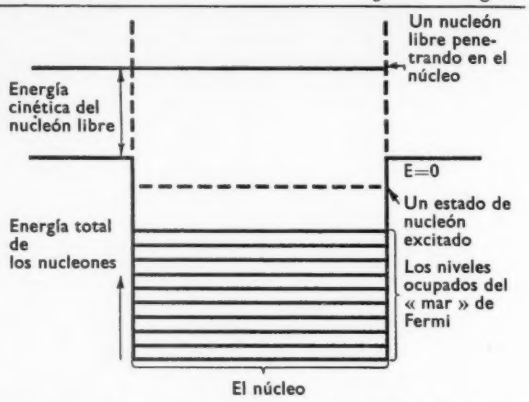


FIGURA 5 – *El «mar» de Fermi de niveles ocupados por una partícula única en un núcleo y un nucleón que choca con el núcleo.*

LOS FUNDAMENTOS FÍSICOS DEL MODELO CON CAPAS

Lo más sorprendente del modelo de capas es su validez. A diferencia de los electrones en un átomo, los nucleones no pueden girar en órbitas dentro del núcleo sin chocar frecuentemente con otros nucleones. Cabe esperar que cuando choquen serán expulsados de sus órbitas.

Para que los estados $1s$, $1p_{3/2}$ . . . del modelo de capas estén bien definidos es fundamental que un nucleón pueda efectuar siquiera varias vueltas en su órbita antes de ser expulsado de ella. Se tiene la paradoja siguiente. Los nucleones dentro del núcleo tienen energías cinéticas de 20 a 30 MeV. Se sabe que si se hace penetrar en un núcleo un nucleón con dicha energía será detenido tras un corto recorrido libre medio del orden de 10^{-13} cm. Ciertamente, este hecho es el fundamento del modelo de núcleo compuesto de Bohr, quien supuso que el nucleón incidente comparte en seguida toda su energía cinética con todos los nucleones en el núcleo. Por tanto, no es fácil ver cómo pueden existir los estados del modelo de capas.

El principio de exclusión de Pauli se aproxima a resolver esta paradoja. Cada estado en el núcleo puede a lo sumo contener dos neutrones y dos protones, y en un núcleo sin excitar, todos los estados de menor energía estarán ocupados, formando el llamado «mar» de Fermi de estados ocupados (Fig. 5). Si chocan dos nucleones dentro del núcleo, no pueden dispersarse recíprocamente a cualquier estado en el mar de Fermi, puesto que se hallan ocupados ya. Por tanto, la interacción nucleón-nucleón produce mucho menos dispersión entre dos nucleones cuando están

en el núcleo que cuando están libres. En el caso considerado del modelo de núcleo compuesto, la primera etapa es el choque del nucleón incidente con otro del mar de Fermi al que eleva a un estado superior al mar; esto se halla permitido por el principio de Pauli, de manera que la interacción se efectúa en toda su amplitud.

Vemos así cómo el modelo de capas puede armonizarse con la interacción fuerte nucleón-nucleón. Sin embargo, para lograrlo adecuadamente será necesario valerse de la teoría de los *n* cuerpos desarrollada por Brueckner, mencionada antes, lo que no ha sido aún llevado a cabo de modo satisfactorio.

Quedan dos dificultades para el físico:

1) Algunas de las predicciones más valiosas del modelo con capas se refieren a partículas en niveles precisamente por debajo del nivel superior del mar de Fermi; por ejemplo, la energía de ligado del último nucleón y el espín de los núcleos. Está claro que el principio de exclusión es mucho menos eficaz para eliminar los efectos perturbadores de la interacción nucleón-nucleón en dichos estados que para aquellos más profundos en el mar de Fermi.
2) Lo dicho acerca del empleo del principio de exclusión es realmente aplicable a la porción atractiva de largo alcance de la interacción nucleón-nucleón. La interacción de alcance corto del centro duro dará de vez en cuando una dispersión de nucleones en el mar de Fermi con un gran intercambio de cantidad de movimiento, de manera que ambos nucleones quedan al fin en estados sobre el mar de Fermi. Es necesario aún averiguar por qué tales colisiones no son importantes en los núcleos grandes.

REFERENCIAS

HULTHÉN, L. y SUGAWARA, M. «The Two-Nucleon Problem», en «Encyclopedia of Physics», Vol. XXXIX, págs. 1–143. Springer, Berlín. 1957.

ELLIOT, J. P. y LANE, A. M. «The Nuclear Shell Model», *Ibid.*, págs. 241–410.

WEISSKOPF, V. F. *Science*, **113**, 101, 1951.

BRUECKNER, K. A. «The Theory of Nuclear Structure», en «The Many-Body Problem». Methuen, Londres. 1958.

HUGENHOLTZ, N. M. y VAN HOVE, L. *Physica*, **24**, 363, 1958.

Revista de libros

ASTROFISICA

PECKER, J. C. y SCHATZMAN, E.: *Astrophysique générale*. x + 756 págs. Masson et Cie., París. 1959. Frs. 13 000.

La astrofísica es un estudio que se ha desarrollado con gran rapidez y en numerosas direcciones durante las últimas décadas. Los resultados obtenidos han exigido la modificación de nociones que se habían adoptado de manera provisional; numerosos aspectos teóricos se encuentran por tanto en estado de fluidez. Todo lo escrito sobre esta materia, aparte de las memorias científicas, ha consistido en libros más o menos de vulgarización y en tratados especializados que estudian ciertos temas; hasta ahora no se había publicado un texto completo de astrofísica para estudiantes de física, matemática y astronomía. Muchos descubrimientos de astrofísica han precedido o dado origen a otros de importancia en física; así las estrellas enanas, la materia degenerada, los espectros de elementos altamente ionizados, las reacciones nucleares y la magnetohidrodinámica.

Los autores de este libro se han propuesto la difícil tarea de preparar un texto avanzado, en el cual han recogido todos los progresos realizados hasta fecha reciente tanto en las observaciones como en la teoría. Ciertas secciones son, por necesidad, de gran complejidad matemática; afortunadamente se incluye un índice de las notaciones empleadas.

El libro está dividido en cinco partes. En la primera se resumen las ideas básicas esenciales. Sigue luego una sección sobre los instrumentos y métodos de observación. La tercera parte trata de las propiedades intrínsecas de las estrellas y de la determinación de dichas propiedades; incluye capítulos sobre las estrellas dobles, las estrellas variables y la estructura interna de las estrellas. La cuarta parte estudia los sistemas de estrellas, e incluye la consideración de las aglomeraciones galácticas y globulares, las asociaciones estelares, la estructura de la galaxia, la materia interestelar, la evolución estelar y los sistemas extragalácticos. Es algo desusado hallar que el Sol y su sistema estudian en la última sección. El Sol se considera como una estrella típica de la clase G2; también se estudian la estructura interna de los planetas y los fenómenos de escape atmosférico en éstos.

El libro puede recomendarse como obra de gran valor pedagógico y útil instrumento de consulta.

H. SPENCER JONES

FISICA

MARTON, L. (Director de la edición): *Methods of Experimental Physics*. Vol. 1, *Classical Methods* (compilado por I. Estermann). XII + 596 págs. Academic Press Inc., Nueva York. 1959. $12,80.

Primer volumen de una serie que (según el Prefacio) «se propone ser una presentación concisa y bien ilustrada de los métodos y principios generales más importantes para el investigador, acompañada de una bibliografía básica». Se divide en nueve secciones que estudian: evaluación de las mediciones; unidades y constantes fundamentales; mecánica de los sólidos; mecánica de

los flúidos; sonido y vibración; calor y termodinámica; óptica; electricidad; magnetismo. Esto es: todas las ramas generalmente reconocidas de la física clásica. Aunque contiene gran cantidad de útiles datos, a nuestro juicio también tiene no pocas faltas graves. Se dedica demasiado espacio a la descripción de métodos experimentales ya bien conocidos y estudiados en gran número de libros de física. Por otra parte, los nuevos métodos descritos en revistas, que sería muy conveniente tener reunidos y tratados críticamente, sólo se mencionan sumariamente y, a veces, de manera inadecuada. No se incluyen referencias a los trabajos fundamentales o a estudios generales recientes en diversas ramas importantes de la mensuración.

G. B. B. M. SUTHERLAND

KINGERY, W. D.: *Property Measurements at High Temperatures.* XII+416 págs. John Wiley & Sons Inc., Nueva York; Chapman and Hall Ltd., Londres. 1959. £6 12s.

La creciente importancia de motores y máquinas que funcionan a alta temperatura, así como de los procesos industriales hiperpíricos, ha dado lugar a una gran demanda de materiales que resistan tales calores y de los datos sobre sus propiedades a esas temperaturas. Este libro trata de la medición de temperaturas, de los hornos, transferencia de calor, medición de la densidad, expansión térmica, propiedades magnéticas y eléctricas, calorimetría y equilibrio de fases. Incluye un breve estudio de la termodinámica química y de las medidas cinéticas a altas temperaturas. El Dr. Kingery escribe claramente y con autoridad sobre todas estas materias.

Cada capítulo comienza con un breve exposición de los principios básicos de cada propiedad en estudio, lo cual es muy útil como repaso, pero inadecuado cuando el lector no posee conocimientos previos. Sigue luego una cuidadosa descripción de los métodos experimentales para la medición de propiedades. Los numerosos diagramas de los aparatos son de especial claridad; hay además un buen índice. Este volumen será muy bien recibido por todos aquellos que trabajen con temperaturas superiores a 1400° C.

G. PORTER

KLEMPERER, O.: *Electron Physics—the Physics of the Free Electron.* XI+248 págs. Butterworths Scientific Publications, Londres; Academic Press Inc., Nueva York. 1959. 32s. 6d.

Este libro tiene su origen en los cursos pronunciados por su autor sobre la física de los electrones y cubre un campo más amplio que el que su título indica, («La física del electrón libre»), ya que trata de temas tales como el teorema de Larmor, el paramagnetismo y el efecto de Zeeman, que son esencialmente propiedades de los electrones ligados. Sin embargo, en general, la obra se ajusta a los límites definidos. Después de una introducción histórica se describen las mociones de los electrones en campos eléctricos y magnéticos combinados, llevando al lector de una manera lógica a la óptica de los electrones y a las propiedades características de los tubos electrónicos simples, con especial referencia a los efectos de carga espacial. Se dedica un capítulo a los métodos para la detección de electrones.

La segunda parte del libro trata de los aspectos físicamente más fundamentales de los electrones. Contiene capítulos sobre los métodos para la determinación de su carga eléctrica y la razón carga/masa, sobre la dinámica relativista de los electrones, su naturaleza ondulatoria y sobre el espín y propiedades afines de los electrones.

Cabe criticar algunos de los capítulos posteriores por su inexactitud, tales como el que estudia la masa electromagnética y el que describe la resonancia magnética. Sin embargo, como guía en esta materia el libro será muy útil, sobre todo para los estudiantes de física e ingeniería eléctrica.

M. H. L. PRYCE

QUIMICA

MYSELS, Karol J.: *Introduction to Colloid Chemistry.* XV+475 págs. Interscience Publishers Inc., Nueva York; Interscience Publishers Ltd., Londres. 1959. 75s.

El Dr. Mysels es activo experimentador y profesor de química de los coloides. Por consiguiente, es lógico esperar en su obra un enfoque original. Y así es en este caso. La mayoría de los textos sobre esta materia se basan en uno de los siguientes principios: o bien la química de los coloides encierra las preparaciones y descripciones relacionadas con los primitivos investigadores, tales como van Bemmelen, o bien la «interfase» y sus propiedades son la noción básica de estos estudios. Esta última doctrina fue presentada con gran claridad por Freundlich y ha sido seguida después por autoridades tales como Irving Langmuir y N. K. Adam.

El Dr. Mysels ha preferido dar a su libro como tema central la «partícula», ya que se trata esencialmente de la química física de las partículas. Este enfoque tiene ciertas ventajas, ya que permite al lector versado en la química física de las moléculas de reducido tamaño apreciar plenamente las secciones del libro que tratan de manera elemental las propiedades coligativas, la difusión y la sedimentación. Por otra parte, las interesantes e importantes propiedades de las interfases reciben poca atención. Por ejemplo, no hemos podido hallar una sola cita a Willard Gibbs. Con todo, el libro contiene un eficaz estudio del estado coloidal, en el que se incluyen los polímeros, lo que puede servir como correctivo a los devotos seguidores de la escuela de Freundlich.

ERIC K. RIDEAL

HAIS, I. M. y MACEK, K. (Compiladores): *Handbuch der Papierchromatographie.* Vol. I, *Grundlagen und Technik.* XXIV+860 págs. Gustav Fischer Verlag, Jena. 1958. DM 58,40.

Este es el primer volumen de un extenso tratado sobre la cromatografía en papel, escrito por dos distinguidos investigadores checoeslovacos. Los capítulos están redactados por los compiladores, o en colaboración con otros investigadores, de modo que el acostumbrado defecto de falta de correlación que resulta de una diversidad de autores se evita en esta obra. Por ejemplo, Hais, después de una introducción en la que resume la historia de este método, presenta, en colaboración con otros dos investigadores, un capítulo sobre las bases teóricas y prácticas de la cromatografía.

En la sección experimental se estudian primeramente la desionización de las soluciones, la aplicación de las muestras y la elección del papel. Las características físicas de los papeles manufacturados por los principales fabricantes se describen también, dándose una comparación fotográfica de una separación de mezclas idénticas de aminoácidos realizada en cada uso de esos papeles.

Se estudian suficientemente las propiedades de los disolventes orgánicos comunes y se indican los métodos para la identificación de los grupos estructurales sobre la base de su comportamiento cromatográfico. Desgraciadamente, se reserva muy poco espacio a

las interacciones moleculares en las disoluciones, lo cual es defecto común a todos los textos sobre cromatografía. Sin embargo, sí hay una lista de diez sistemas solventes cuyo uso sistemático proporciona buena base para un método para las mezclas hasta ahora no resueltas.

Una concisa sección trata de los aparatos y va seguida de un útil estudio de los factores que afectan la forma de zona y el R_f. Los capítulos siguientes estudian la detección, el cálculo cuantitativo y las técnicas especiales para las sustancias radiactivas. Esas secciones especiales ocupan aproximadamente la tercera parte del libro; el resto trata de grupos específicos de sustancias (y sus derivados) desde los alcoholes a los colorantes sintéticos y las sustancias inorgánicas.

Las referatas cubren la literatura hasta 1956, por lo que los detallados índices de autores y materias hacen de este libro indispensable obra de consulta en todo laboratorio en que se utilice la cromatografía en papel.

A. T. JAMES

HARDIE, D. W. F.: *Electrolytic Manufacture of Chemicals from Salts*. XII + 74 págs. Publicado para Imperial Chemical Industries Ltd., Londres, por la Oxford University Press, Londres. 1959. 7s. 6d.

Tercero de una serie de textos patrocinados por *Imperial Chemical Industries* y destinados a salvar el abismo entre los conocimientos químicos recibidos en la enseñanza secundaria y los necesarios en la industria. Según afirma el autor en su Introducción, los procesos electrolíticos que se inician con sales se prestan especialmente a este enfoque. Los procesos químicos en que se basan tienen interés en sí mismos y son fácilmente inteligibles para un estudiante de último año de bachillerato; además se pueden relacionar fácilmente con las necesidades energéticas y la economía general de la industria.

En el libro se ofrece un excelente estudio de las nociones electroquímicas de voltaje de descomposición y de eficacia de corriente, presentándose con gran claridad los diversos componentes del voltaje de trabajo; para nosotros fue gran sorpresa saber que en la célula de sodio de Downs un gran porcentaje de tal voltaje se usa simplemente para vencer la resistencia de las conexiones eléctricas. Sin embargo, a nuestro juicio, se hubiera debido subrayar en el texto y no en una simple nota de pie de página la distinción entre calores y energías libres de formación.

En otro capítulo se describe en detalle la célula de mercurio y dos formas de células de diafragma y la de sodio de Downs. Otros capítulos tratan de las propiedades físicas y usos de los diversos productos, su empaquetamiento y transporte, las estadísticas de producción y el desarrollo histórico de los métodos. Forman dos apéndices una cronología del desarrollo de la industria y un útil glosario de términos técnicos; hay también una bibliografía. Este libro puede recomendarse a toda biblioteca de colegios y universidades.

P. SPICE

CRISTALOGRAFIA

International Tables for X-ray Crystallography, Vol. II, *Mathematical Tables* (Compiladas por John S. Kasper y Kathleen Lonsdale). XVIII + 444 págs. Publicado para la Unión Internacional de Cristalografía por la Kynoch Press, Birmingham. 1959. £5 15s.

Los cristalógrafos tienen de nuevo que agradecer a un grupo de distinguidos investigadores la producción de un instrumento de gran utilidad. El Volumen II de las «Tablas Internacionales» está limitado a la información matemática, presentando en forma muy conveniente las fórmulas, tablas de funciones y diagramas usados en las múltiples fases de la determinación de estructuras de cristales.

En un capítulo especial se resumen los métodos matemáticos de particular interés en el analísis por rayos X de la estructura cristalina. Muy raro será que algún cristalógrafo no halle útil este capítulo de repaso de cosas que aprendió hace tiempo y que ya no recuerda con exactitud.

Las principales secciones tratan de la geometría de los cristales, la geometría difraccional, los principios físicos de los métodos de difracción, la teoría de Fourier con especial referencia a las transformas de Fourier, y los factores de estructura. En todo momento se incluyen cuidadosas referatas. La producción por la Kynoch Press es de la misma elevada calidad que la del Volumen I.

H. M. POWELL

BIOLOGIA

FRITZ-NIGGLI, H.: *Strahlenbiologie. Grundlagen und Ergebnisse*. XVI + 380 págs. Georg Thieme Verlag, Stuttgart. 1949. DM 65.

La radiobiología, como la investigación sobre el cáncer, comprende casi todos los temas que uno desee incluir: por ello es muy difícil escribir un libro completo. Sin embargo, el Profesor Fritz-Niggli ha abordado este problema con tanto valor como éxito. Su libro se divide en secciones sobre la física, química, bioquímica, genética, estudio de las células y partículas celulares, embriones, regeneración, cáncer, la patología y la muerte, enfermedad, profilaxis y terapia, y sus teorías. La distribución corresponde al título en el sentido de que las secciones biológicas, tales como las que tratan de la genética, son más largas y especializadas, aunque en partes como las que estudian la profilaxis hubiera sido de desear la inclusión de más detalles. La mayoría de las numerosas tablas, diagramas e ilustraciones son muy informativas y están bien presentadas. En general, esta obra recoje toda la información interesante que hoy existe sobre radiobiología.

J. ST. L. PHILPOT

ATKINS, H. J. B. (Compilador): *Tools of Biological Research*. XVI + 183 págs. Blackwell Scientific Publications, Oxford. 1959. 37s. 6d.

Las descripciones que contiene esta publicación sobre los métodos empleados en la investigación biológica se basan en los trabajos presentados en un simposio celebrado en el *Guy's Hospital* de Londres en octubre de 1958, dirigido por el compilador de esta obra, por encargo de la *Surgical Research Society*. Después de la Introducción, redactada por el Presidente de la *Royal Society*, y de un artículo sobre la planificación de los experimentos se incluyen nueve estudios breves sobre las técnicas. Dos son de carácter biológico y tratan del cultivo y el transplante de tejidos; los demás son de física: fotometría de las llamas, electromanometría, microscopía electrónica, microscopía de fase y de interferencia, electroforesis, intensificación de imágenes de rayos X y espectrometría de masas. Todos ellos son obra de activos especialistas en los respectivos temas; los capítulos están bien ilustrados e incluyen una lista selecta para ampliación de lecturas. La mayor parte tienen de 10 a 15 páginas y no son, por tanto, sino una declaración de principios de operación y un resumen de las aplicaciones. La principal excepción es el artículo sobre la microscopía electrónica que en sus 50 páginas contiene un estudio claro y conciso de todos los aspectos de dicho tema. Sería difícil encontrar una mejor introducción al estudio de algunos

de los nuevos métodos que hoy se utilizan en la investigación médica y biológica. V. E. COSSLETT

BOTANICA

STEWARD, F. C. (Compilador): *Plant Physiology*, Vol. II, *Plants in Relation to Water and Solutes*. XVII + 758 págs. Academic Press Inc., Nueva York. 1959. $22.

Pocos problemas hay en la fisiología vegetal que tengan soluciones por todos aceptadas. En tres capítulos diferentes de esta obra se trata de la permeabilidad relativa de las capas interior y exterior del protoplasma vegetal. El primero «se inclina hacia la doctrina clásica» de que ambas membranas se comportan similarmente en cuanto a su permeabilidad respecto a los solutos; el segundo acepta la noción de que la interior ofrece una barrera mucho más impermeable; el tercero no revela las preferencias de su autor.

Casi todos los colaboradores de este volumen segundo (aunque es el primero en aparecer) de los seis proyectados son veteranos en las respectivas ramas y conocen bien el peligro de toda afirmación dogmática en fisiología vegetal. Su actitud general es de cautela más bien que la de pretender hacer afirmaciones rotundas y originales.

Este libro será de gran valor durante los próximos cinco años para todo lector especializado en estas cuestiones que desee tener toda la información disponible de forma fácilmente manejable. W. O. JAMES

MEDICINA

NEUBAUER, O.: *Bibliography of Cancer produced by Pure Chemical Compounds—A Survey of the Literature up to and including* 1947. XXVII + 604 págs. Clarendon Press; Oxford University Press, Londres. 1959. 42s.

Este libro está basado en 5000 trabajos publicados hasta 1947 en los que se trata de productos químicos carcinógenos; para obtener títulos y autores de tales trabajos el Dr. Neubauer tuvo que consultar casi 500 revistas. Una vez obtenido ese material, el problema era presentarlo integrado enciclopédicamente y no como un mero catálogo; su método ha sido, primero ordenar los 5000 trabajos alfabéticamente por autores, dando además las fechas, título completo del trabajo y número de referencia. Esto forma la primera parte del libro. La segunda, que era mucho más difícil de ordenar, comprende un sistema de clasificación de los trabajos según temas tales como: propiedades químicas de los carcinógenos, propiedades físicas, modo de administración, efecto local sobre la piel, órganos internos y tejidos distantes, metabolismo, efectos genéticos o de inmunidad, y otras muchas características, estableciendo así un total de 32 categorías. Esos 32 grupos se subdividen de nuevo en categorías que tratan de los compuestos carcinógenos que pertenecen a la clase de los policíclicos, azo-compuestos, esteroles y otros órdenes de constitución química.

Esta bibliografía será de especial utilidad a los que ya conocen esta rama de investigación y necesitan un instrumento de referencia basado en los nombres de autores, con los títulos, fechas y detalles de las revistas. Desgraciadamente, este libro no es un éxito completo, primero porque se detiene en 1947 y, segundo, porque su índice es inadecuado, cosa grave en un libro de consulta. Este hubiera ganado mucho mediante un sistema de índices adecuadamente ensamblado y con detalladas referencias cruzadas. I. HIEGER

Research in Veterinary Science, Vol. I. No. 1, Enero 1960. IV + 93 + X págs, Blackwell Scientific Publications, Oxford. Suscripción trimestral: 25s.; anual: 90s.

La aparición del primer número de esta revista significa un importante progreso en la literatura veterinaria. En su Prefacio, el Presidente de la *British Veterinary Association* explica los objetivos de esta publicación, cuyo primer número promete su fiel cumplimento. Las colaboraciones tratan de una amplia selección de animales entre los que se incluyen las aves de corral, ganado, puercos y perros y servirán como fuente de información para los investigadores en diversas disciplinas. Debemos felicitar a los colaboradores por la claridad y sencillez de estilo de sus artículos y la buena calidad de los diagramas, fotografías y microfotografías. Las referatas que aparecen al final de los artículos están bien seleccionadas y, sin ser excesivas, bastan para su propósito. La presentación de la nueva publicación es agradable, digna y dice muy bien de los encargados de su preparación. H. BURROW

HISTORIA DE LA CIENCIA

The Correspondence of Isaac Newton, Vol. I, 1661–1675. Edición a cargo de H. W. Turnbull. XXXVIII + 468 págs. Cambridge. Publicada para la *Royal Society* en la University Press, Londres. 1959. 147s.

Desde hace ya tiempo viene siendo lamentable que no exista una edición crítica y uniforme de las obras de Newton. Los proyectos que para ello se han preparado hasta ahora han fracasado todos debido a la enorme cantidad y complejidad de las obras literarias de Newton, que junto con sus manuscritos de química y teología suman unos tres millones y medio de palabras.

En 1939, La *Royal Society* consiguió que el Profesor H. C. Plummer se encargase de la tarea — más asequible — de preparar la correspondencia de Newton para su publicación, labor que, a la muerte del Profesor Plummer, fue continuada por el Profesor H. W. Turnbull, quien ha completado casi los tres primeros volúmenes de la serie. El propósito es imprimir *in extenso* todas las cartas conocidas de Newton y las a él escritas, junto con los extractos de sus notas personales y de otras cartas contemporáneas que se refieren a su trabajo.

Este primer volúmen, que contiene una erudita Introducción del Profesor Andrade, tiene especial interés ya que se refiere al descubrimiento de los componentes de la luz solar, la construcción del telescopio de reflexión, los primeros experimentos con fluxiones y cuadraturas y hasta algunos anticipos de la mecánica celeste. Los textos latinos se han traducido al inglés, y todos los puntos de carácter técnico o histórico que exijen aclaraciones van acompañados de notas adecuadas. Aparte su interés científico, estas cartas arrojan luz sobre el carácter de Newton y sus relaciones con otros hombres de ciencia. Las planchas contienen especímenes de páginas de cartas y manuscritos de Newton de esos años.

Este soberbio volumen es digna conmemoración del III Centenario de la *Royal Society*; la publicación de sus sucesores en la misma serie será esperada con impaciencia por los estudiosos de Newton y su época. A. ARMITAGE

Revistas resumidas de libros

(Estas revistas tienen carácter descriptivo más bien que crítico y sirven para dar una indicación general del contenido y naturaleza de las obras tratadas.)

LEWIS, J. y WILKINS, R. G. (Compiladores): *Modern Coordination Chemistry.* XVI+487 págs. Interscience Publishers Inc., Nueva York; Interscience Publishers Ltd., Londres. 1960. 80s.

Este libro trata de los métodos físicos de coordinación química y sus principios básicos. Los temas estudiados incluyen las velocidades de reacción de los complejos metálicos transicionales, los isómeros de los compuestos complejos, la espectroscopía visible y de ultravioleta de los compuestos complejos y su magnetoquímica.

International Conference on Coordination Chemistry. 204 págs. The Chemical Society, Londres. 1959. 42s.

En este volumen se publican las memorias presentadas a la Conferencia celebrada en Londres en abril de 1959, junto con los resúmenes analíticos de los trabajos leídos. Las conferencias trataron, entre otros temas, de la estabilidad de los complejos metálicos, el mecanismo de las reacciones complejo-ion, los enlaces metal-ligando y los complejos acetilídicos de los metales de transición.

PASCAL, P. (Compilador): *Nouveau traité de chimie minérale,* Vol. XVIII. XL+944 págs. Masson et Cie., París. 1959. En rústica: N.Frs. 95; encuadernado: N.Frs. 107.

Aunque este volumen estudia especialmente los complejos de hierro, cobalto, y níquel, el capítulo sobre los complejos ferrosos (por C. Duval) incluye también las sales de hierro. Otras secciones tratan de los carbonilos y nitrosilos de hierro (por A. Michel), los complejos y carbonilos de cobalto (por P. Job y J. Amiel respectivamente) y los complejos y carbonilo de níquel (por Mme. C. Duval y P. Pascal).

KATRITZSKY, A. R. y LAGOWSKI, J. M.: *Heterocylic Chemistry.* 274 págs. Methuen & Co. Ltd., Londres; John Wiley & Sons Inc., Nueva York. 1960. 21s.

Los autores de este libro se han propuesto tratar la química heterocíclica en términos de la teoría electrónica, con la consiguiente utilidad para los estudiantes avanzados y los que inician sus investigaciones. El libro es un estudio general de la química heterocíclica básica y subraya las correlaciones entre los métodos de preparación y las propiedades de los diversos sistemas de anillo.

MATHIEU, J. y ALLAIS, A.: *Cahiers de synthèse organique,* Vol. V. 394 págs. Masson et Cie., París. 1959. En rústica: N.Frs. 78; encuadernado: N.Frs. 85.

El Volumen V de esta obra — que ha de completarse en siete — trata de las reacciones de degradación, las cuales no se consideran como métodos de determinar la estructura de los compuestos sino como complemento de los métodos sintéticos de preparación. El libro se divide en dos secciones, una trata de las reacciones en las que se elimina un grupo que incluye carbono; la otra de las reacciones en las que se rompe una cadena carbónica o se abre un anillo. La obra está concebida para ser usada por químicos orgánicos como guía de métodos de preparación.

Structure Reports for 1952, Vol. XVI (Compilado por A. J. C. Wilson). VIII+651 págs. Publicado para la Unión Internacional de Cristalografía por N. V. A. Oosthoek's Uitgevers Mij., Utrecht. 1959. Fl. 12.

El propósito de este libro es presentar toda la información relacionada con estructuras contenida en trabajos publicados, incluyendo al mismo tiempo una breve referencia al resto de su contenido. Se divide en tres secciones: una, sobre los metales, compilada por N. C. Baenziger; otra, sobre los compuestos inorgánicos, por J. Wyart; la última, sobre los inorgánicos, por J. Monteath Robertson.

Data for Biochemical Research (Compilado por R. M. C. Dawson, D. C. Elliott, W. H. Elliott y K. M. Jones). XIII+299 págs. Clarendon Press; Oxford University Press, Londres. 1959. 63s.

Este libro tiene como fin facilitar datos sobre los compuestos, reactivos y técnicas usados por los bioquímicos en sus investigaciones corrientes. Para reducir en lo posible su tamaño, los compiladores han seguido el principio de que toda información contenida en el libro debe ser de utilidad en el laboratorio. Los temas tratados incluyen los compuestos bioquímicos, los tampones y los medios fisiológicos, las resinas de intercambio iónico, los datos isotópicos y la manometría. Se incluyen referencias para otras consultas.

RUDNICK, D. (Compilador): *Cell Organism and Milieu.* V+326 págs. The Ronald Press Co., Nueva York. 1959. $8.

El tema del 17° simposio de la Sociedad para el estudio del desarrollo y crecimiento era el de la diferenciación y crecimiento como respuesta a un medio ambiente cambiante. Las colaboraciones en este simposio aparecen publicadas en este libro, que incluye trabajos sobre la función de las estructuras celulares en los movimientos de las células, la química y fisiología de las hormonas de crecimiento de los insectos, las modificaciones experimentales del desarrollo en las raíces, y la fisiología y bioquímica del blastocisto de los mamíferos.

READ, J.: *Radiation Biology of* Vicia Faba *in relation to the General Problem.* XXII+270 págs. Blackwell Scientific Publications Ltd., Oxford. 1959. 45s.

Probablemente los efectos de las radiaciones ionizantes sobre la raíz de *Vicia faba* se conocen mejor que los de cualquier otra substancia viva. En este libro se estudian estos datos de modo que sirvan a manera de introducción al estudio general de la biología de las radiaciones. Se procura identificar y explicar los daños más importantes causados a las células radicales y se sugiere hasta qué punto las conclusiones basadas sobre *Vicia faba* se pueden aplicar en general a los tejidos animales y humanos.

LESTER SMITH, E.: *Vitamin* B_{12}. XII+196 págs. Methuen & Co. Ltd., Londres; John Wiley & Sons Inc., Nueva York. 1960. 15s.

Este es un libro para bioquímicos y reseña las investigaciones que han conducido a la obtención de la vitamina B_{12}, estudiando su química, sus funciones en la nutrición animal y humana y los mecanismos de su acción.

Notas sobre los colaboradores

W. L. BARGMANN
Nació en Nuremberg en 1906 e ingresó en el personal de la Universidad de Zurich en 1935. Más tarde fue Prosector y Jefe de Departamento en las universidades de Leipzig y Königsberg. Después de la guerra marchó a Göttingen; es desde febrero de 1946 Director del Departamento de Anatomía en la Universidad de Kiel. Ha estudiado numerosos problemas histológicos y microanatómicos, principalmente en las ramas de la endocrinología y neurohistología. Ha publicado estudios sobre la anatomía y las artes, Goethe, la morfología y un texto de histología. Ha dirigido la edición de *Zeitschrift für Zellforschung und mikroskopische Anatomie* (con J. Seiler), *Handbuch der mikroskopischen Anatomie des Menschen*, y *Zwanglose Abhandlungen aus dem Gebiete der normalen und pathologischen Anatomie* (con W. Doerr).

N. L. PADDOCK
Nació en Bristol en 1918 y estudió en el *Emmanuel College* de Cambridge. Después de un período como investigador en Cambridge, ingresó en *Albright and Wilson Ltd.* Oldbury, donde es ahora Jefe de la Sección de Quimica Física del Departamento de Investigaciones. Se interesa principalmente en los métodos físicos y teóricos en la química inorgánica y en la aplicación de la química física a problemas de ingeniería química.

H. PETTERSSON
Nació en 1888 y estudió física y química con K. Ångström en Uppsala y con Sir William Ramsay en Londres. En 1914 fue nombrado profesor auxiliar de oceanografía en Gothenburg y catedrático en 1930. Es Director del Instituto Oceanográfico de dicha universidad desde su fundación en 1939. Es miembro extranjero de la *Royal Society*. Dirigió en 1947–48 la expedición sueca que a bordo del *Albatross* circumnavegó el globo haciendo estudios de las grandes profundidades. Ha realizado investigaciones en física y oceanografía y construido varios instrumentos, entre ellos una microbalanza suspendida por fibras de cuarzo.

W. WILLIAMS
Nació en Cardiganshire en 1920 y estudió en la Universidad del País de Gales. Desde 1942 a 1950 realizó investigaciones sobre genética y el cultivo de herbáceas y leguminosas en la *Welsh Plant Breeding Station*. En 1950 fue nombrado profesor de botánica agrícola en la Universidad de Durham. Desde 1955 es Jefe del Departamento de Cultivos Vegetales en el *John Innes Institute*, Bayfordbury, Hertfordshire. Sus investigaciones comprenden los sistemas de incompatibilidad en las plantas, la resistencia a las infecciones y la herencia de caracteres cuantitativos.

A. G. BROWN
Nació en Montrose en 1910. Durante los últimos 25 años ha formado parte del personal del *John Innes Institute*. Ha colaborado con M. B. Crane en estudios sobre la polinización de especies frutales, trabajos que han producido notable mejora en el planteo de las granjas. A él se deben nuevas variedades de frutales; en la actualidad se ocupa en el desarrollo de variedades de manzano resistentes a las infecciones.

D. A. PARRY
Estudió zoología en las universidades de Bristol y Cambridge. Después de la guerra se incorporó a la expedición ballenera en el Antártico representando al *Discovery Committee;* en ella pasó tres años estudiando la mecánica de los movimientos de los cetáceos. Desde 1950 se ha interesado en problemas de la mecánica de traslación de los artrópodos terrestres y, especialmente, de las arañas. Es profesor de zoología en la Universidad de Cambridge y tutor en el *King's College*.

J. HAMILTON
Nació en 1918 en Sligo, Irlanda, y estudió en la *Royal Academical Institution* de Belfast, en las universidades de Belfast y Manchester y en el *Institute for Advanced Studies* de Dublin. Durante la guerra trabajó en investigaciones operacionales navales en Inglaterra y el Sudeste del Asia; desde 1948 a 1949 fue profesor de física teórica en la Universidad de Manchester. En la actualidad es profesor de matemáticas en la Universidad de Cambridge y Miembro del *Christ's College*, también de Cambridge.